

Морской



Вестник

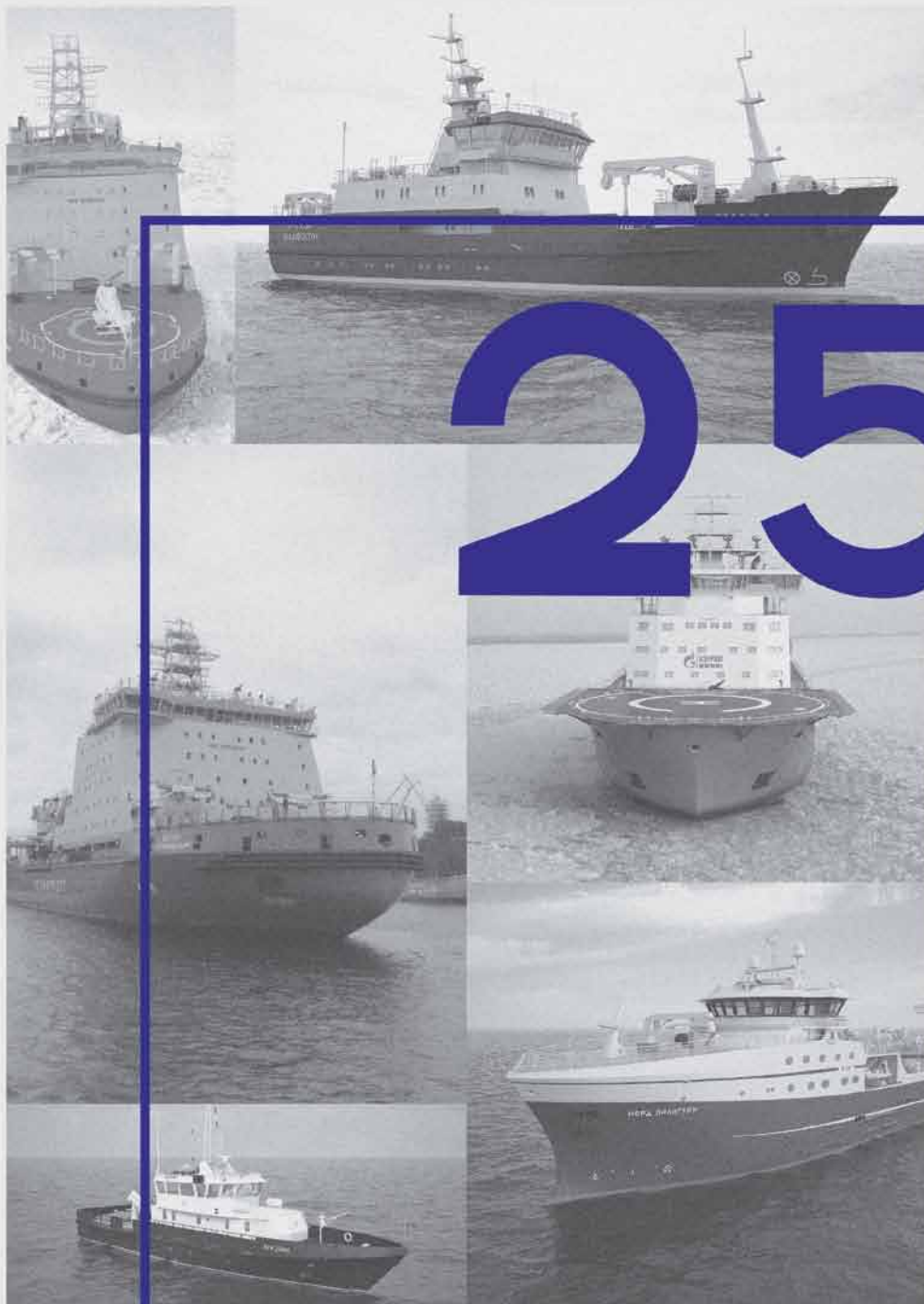
№3(75)

сентябрь

2020

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik



25 ЛЕТ

ПКБ ПЕТРОБАЛТ

Юрий Михайлович Коновалов – один из ведущих специалистов школы проектирования уникальных глубоководных научно-исследовательских средств освоения океана. Долгое время он возглавлял отдельное направление в отечественном кораблестроении – глубоководную тематику. Им воспитана большая плеяда учеников и последователей, продолжающих ее развитие. И сейчас Юрий Михайлович ведет научно-технические поиски и перспективные разработки в этом направлении, являясь советником генерального директора – генеральным конструктором специальных глубоководных комплексов и технических средств с атомной энергетикой и глубоководных аппаратов.

Юрий Михайлович Коновалов родился 6 августа 1930 г. в рабочем поселке Сенгилей (ныне – город) Ульяновской области. В 1954 г. окончил Ленинградский кораблестроительный институт (ныне – Санкт-Петербургский государственный морской технический университет) по специальности инженер-кораблестроитель.

После окончания института поступил на работу в Техническое училище ВМФ (г. Ломоносов) на должность преподавателя, старшего преподавателя, начальника судокорпусного цикла. В 1958 г. был принят на работу в проектный отдел ЦКБ-18 (ныне – АО «ЦКБ МТ «Рубин») конструктором 1-й категории, затем стал ведущим конструктором, занимался вопросами статистики, общим проектированием и обеспечением постройки, испытаний и сдачи неатомных подводных лодок проектов 615, 613, 641, а позже подводных ракетносцев 1-го поколения проектов 658, 659, 675, 667А, 685.

Участвовал в разработке проектного облика экспериментальной глубоководной подводной лодки (образец атомной подводной лодки по теме «Плавник»), глубоководного батискафа «Наука», спасательного колокола новой конструкции. Им было предложено оригинальное решение по базированию стратегического оружия во внутренних водоемах, которое легло в основу разработки пр. 602.

С 1965 по 1969 г. в составе творческого коллектива он выполнял работы по новому направлению – поиску возможностей создания технических средств с большой глубиной погружения, неограниченной дальностью плавания, большой автономностью при минимальном водоизмещении, становлению и развитию которого он посвятил более 50 лет.

В 1970 г. вместе с группой конструкторов Юрий Михайлович переведен в ЦПБ «Волна» (ныне – АО «СПМБМ «Малахит») на должность заместителя главного конструктора глубоководных технических средств (ГТС).

Ю.М. КОНОВАЛОВУ – 90 ЛЕТ

АО «СПМБМ «Малахит», контакт. тел (812) 242 7506



С 18 августа 1988 г. Ю.М. Коновалов приказом Министерства судостроительной промышленности назначает главным конструктором пр. 1863 и пр. 10840, и в этом же году он становится главным конструктором ГТС пр. 1910 и последующих.

С 8 июня 1992 г. приказом начальника бюро Юрия Михайловича как продолжателя дела создателей глубоководных кораблей и комплексов – конструкторов Е.С. Корсукова и С.М. Бавилина назначает главным конструктором ГТС.

Приказом Госкомитета по оборонным отраслям промышленности 18 февраля 1994 г. Ю.М. Коновалова назначают генеральным конструктором ГТС и комплексов, а с 2006 г. по август 2016 г. генеральным конструктором ГТС, комплексов и глубоководных аппаратов.

Ю.М. Коновалов внес большой вклад в разработку, практику проектирования и создания уникальных ГТС и комплексов со специальной энергетикой. Совместно с заказчиком разрабатывал первые тактико-технические задания на проектирование ГТС, формирование их облика и пути решения поставленных задач. Он – автор уникальных научных и технических решений и изобретений в области оборонной техники, которые легли в основу разработки глубоководной техники. Лично обеспечивал постройку и все виды испытаний, включая глубоководные, на борту опытных заказов. В дальнейшем под его руководством и при непосредственном участии были построены и сданы в эксплуатацию опытный заказ пр. 10831 и ряд серийных заказов и комплексов.

Яркий и талантливый, широко эрудированный инженер, волевой руководитель, настойчивый и энергичный специалист, преодолевший трудности и неверие в возможность реализации за-

думанных решений, Юрий Михайлович убежден в успехе комплексного развития глубоководной техники в нашей стране.

В 2004 г. им разработана концепция развития ГТС, одобренная и поддержанная Министерством обороны, которая легла в основу концепции развития глубоководных сил и средств, утвержденной в 2006 г. Президентом России.

В настоящее время Юрий Михайлович трудится в должности советника генерального директора АО «СПМБМ «Малахит». Он воспитал и продолжает воспитывать учеников и последователей, которые развивают сложнейшую глубоководную тематику, передает свои знания и опыт подрастающему поколению корабелов, проводя встречи и читая лекции на созданных в «Малахите» базовых кафедрах ведущих вузов страны – Санкт-Петербургского государственного морского технического университета и Балтийского государственного технического университета «Военмех» им. Д.Ф. Устинова.

Ю.И. Коновалов имеет научные труды и изобретения, он – член ряда научно-технических и экспертных советов, член редакционного совета сборника РАН «Вопросы теоретической и прикладной гидрофизики».

В 1993 г. за мужество и героизм, проявленные при выполнении специального задания, Юрий Михайлович Коновалов удостоен звания Героя России. В 1998 г. за большой вклад в развитие глубоководной тематики в отечественном кораблестроении награжден орденом «За заслуги перед Отечеством» II степени. В 2002 г. ему присвоено почетное звание «Ветеран атомной энергетики и промышленности», в 2008 г. за создание уникальных глубоководных технических средств нового поколения – звания лауреата Государственной премии РФ в области науки и технологий, в 2013 г. за заслуги в области судостроения – звание «Почетный судостроитель», в 2015 г. решением ГУГИ Министерства обороны РФ – звание «Подводник-гидронавт России» с вручением знака. В 2016 г. за заслуги в обороноспособности страны он награжден орденом «Александра Невского».

Коллеги и друзья поздравляют Юрия Михайловича со столь значимым юбилеем и желают ему здоровья и дальнейших творческих свершений.

Редколлегия и редсостав журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают юбиляру здоровья, благополучия и новых технических открытий на благо Отечества. ■

Морской Вестник



№ 3 (75)
сентябрь
2020

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

Председатель

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

Сопредседатели:

М.В. Александров, генеральный директор АО «ЦТСС»,
президент Ассоциации судостроителей СПб и ЛО

В.С. Никитин, президент Международного
и Российского НТО судостроителей
им. акад. А.Н. Крылова

Г.А. 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, научный руководитель
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»

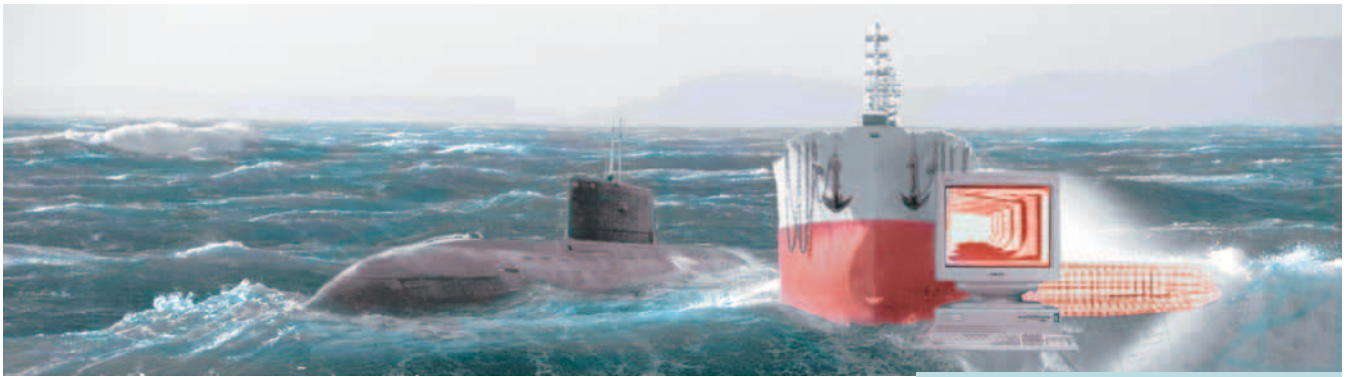
СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

- Ю.М. Коновалову – 90 лет*..... 1
- На Выборгском судостроительном заводе заложен пограничный
корабль ледового класса «Пурга»*..... 7
- На Средне-Невском судостроительном заводе заложены корабль
противоминной обороны «Лев Чернавин» и пассажирское судно
«Андрей Дубенский»*..... 8
- В.Н. Половинкин, А.Б. Фомичев.** Современное состояние
и перспективы развития универсальных десантных кораблей.
Часть 2..... 10
- А.Г. Егоров.** Развитие европейского флота и рынка речных круизов..... 21
- В.Ю. Семенова, Д.А. Альбаев.** Определение нелинейных сил
второго порядка, возникающих при поперечной качке судов
на косых курсовых углах на основании трехмерной потенциальной теории..... 29
- Ю.И. Нечаев.** Модели интерпретации эволюционной динамики судна
в нестационарной среде экстренных вычислений..... 34
- О.В. Третьяков, П.А. Шауб, С.В. Московкина.** Основы динамической
непотопляемости судна..... 37
- Е.М. Грамузов, Б.П. Ионов, М.Ю. Сандаков, Н.Е. Тихонова.** Влияние
геометрии носовой оконечности судна ледового плавания на ходкость
в битых льдах..... 40
- И.И. Зайцев, Д.В. Шамановский, Е.В. Бутер, М.А. Ахрестин.**
Роль информационного взаимодействия предприятий при создании
комплексов автоматизированных систем управления на примере
подводных лодок малого водоизмещения..... 42
- Н.М. Вихров, В.П. Лянзберг.** Особенности выбора параметров
обжимной шайбы иллюминаторов высокого давления со стеклоэлементом
в форме оболочки..... 47

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- А.А. Алексашин, В.В. Дударенко, Л.М. Клячко.** Структурные
преобразования в судостроении: зарубежный опыт..... 48
- А.В. Иванкович.** Генезис современной денежной цивилизации..... 53
- К.О. Будников.** Развитие мощностей АО «Адмиралтейские верфи»
для изготовления крупных блоков..... 55
- Д.А. Баханский.** Работа АО «КБ «Вымпел» в условиях режима повышенной
готовности..... 59
- Д.А. Ведерников.** Опыт применения интегрированной CAD- и PDM-систем
в рамках технологической подготовки производства..... 63



СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

М.А. Александров, Ю.Л. Бородин, А.В. Никитин, Д.А. Скороходов. ЦНИИ судового машиностроения – 50 лет на службе отечеству. Научно-техническое развитие механизмов, устройств и комплексов судового машиностроения для российского судостроения и военно-морского флота 65

В.В. Новиков, К.Н. Осипов. К вопросу о минимизации компонент вектора диагностических параметров поршневых двигателей внутреннего сгорания 70

И.В. Плещенков. Изучение аддитивных технологий изготовления тонкостенных деталей термостойких композиционных материалов для изделий судового машиностроения 75

Б.Ф. Дмитриев, С.Я. Галушин, А.Н. Калмыков, Аунг Тху Пхио, А.Д. Егорова. Средства повышения качества электрической энергии в судовых электроэнергетических системах 77

АО «Компрессор» – значит сделано в России 83

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

А.Г. Юрескул, Е.А. Анисимов, Ю.И. Иванов, Н.А. Фахдеев, Н.В. Смирнова. Система энергоснабжения на основе топливных элементов для беспилотных летательных аппаратов 87

Л.Г. Бакуменко, А.Н. Дядик, М.В. Ларионов, С.Н. Сурин. Интегрированный подход к энергообеспечению автономных необитаемых подводных аппаратов 91

Е.А. Рылов. Сферы использования и принципы построения радиостанций СДВ диапазона 96

И.В. Онорин, Б.Ю. Семенов, Р.Н. Кодрян. Анализ корреляции данных виртуального моделирования теплонагруженных элементов статических преобразователей с эмпирическими данными 99

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

А.Г. Смирнов. Анализ сроков эксплуатации плавучих доков 105

Н.А. Нестеров, Р.А. Андреев. Анализ типовых характеристик средств навигации подводных аппаратов по материалам отечественной и зарубежной печати 109

В.Н. Илюхин. Актуальные нормативно-правовые и организационно-технические аспекты подъема затонувших объектов. Часть 1 114

П.И. Малеев. Новые способы создания средств навигации на основе сверхпроводников 119

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

Б.А. Барбанель, С.В. Федулов, Д.А. Косаренко. Российские производственники на американском судостроительном предприятии (конец XIX – начало XX вв.) 127

Главный редактор

Э.А. Конов, канд. техн. наук

Зам. главного редактора

Д.С. Глухов

Тел./факс: (812) 6004586

Факс: (812) 3124565

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Редакционная коллегия

Г.Н. Антонов, д-р техн. наук

А.И. Гайкович, д-р техн. наук, проф.

Е.А. Горин, д-р эконом. наук

В.Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф.

Б.П. Ионов, д-р техн. наук, проф.

Д.В. Казунин, д-р техн. наук

Р.Н. Караев, канд. техн. наук

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

А.И. Короткин, д-р техн. наук, проф.

П.А. Кротов, д-р истор. наук, проф.

П.И. Малеев, д-р техн. наук

Ю.И. Нечаев, д-р техн. наук, проф.

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

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

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. Ильичева

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 № 981

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

№3(75)

september

2020

Morskoy Vestnik

SCIENTIFIC, ENGINEERING, INFORMATION AND ANALYTIC MAGAZINE

Editorial Council

Chairman

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

Co-chairman:

M.V. Alexandrov, General Director JSC 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 SPMDB 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. Kopanov, General Director

JSC SPF Meridian

G.A. Korzhavin, Scientific Director

JSC Concern Granit-Elektron

A.V. Kuznetsov, General Director JSC Armalit

L.G. Kuznetsov, General Designer

JSC Compressor

G.N. Muru, 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 Avrora

A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC Almaz CMDB

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

A.S. Solov'yev, General Director

PIJSC 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 Pumori-north-west

CONTENTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

- Yu. M. Konovalov – 90 years*..... 1
- The ice-class border ship «Purga» was laid down at the Vyborg shipyard*.....7
- The Lev Chernavin mine defense ship and Andrey Dubensky passenger ship were laid down at the Sredne-Nevisky shipbuilding plant*.....8
- V. N. Polovinkin, A. B. Fomichev.** *Current status and development prospects of universal landing ships. Part 2*..... 10
- A. G. Egorov.** *Development of European river cruise fleet and market*..... 21
- V. Yu. Semyonova, D. A. Al'baev.** *Determination of nonlinear forces of the second order arising during the lateral rolling of ships at oblique heading angles, based on the three-dimensional potential theory* 29
- Yu. I. Nechaev.** *Models of interpretation of the evolutionary dynamics of a ship in a non-stationary environment of emergency calculations*..... 34
- O. V. Tretyakov, P. A. Schaub, S. V. Moskovkina.** *Fundamentals of dynamic unsinkability of a ship*..... 37
- E. M. Gramuzov, B. P. Ionov, M. Yu. Sandakov, N. E. Tikhonova.** *Influence of the geometry of the bow tip of an ice-sailing vessel on the seaworthiness in broken* 40
- I. I. Zaitsev, D. V. Shamanovskiy, E. V. Buter, M. A. Akhrestin.** *The role of information interaction between enterprises in the creation of complexes of automated control systems on the example of small displacement submarines* 42
- N. M. Vikhrov, V. P. Lyanzberg.** *Features of the choice of parameters of the crimp washer of high-pressure windows with a glass element in the form of a shell*..... 47

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING

- A. A. Aleksashin, V. V. Dudarenko, L. M. Klyachko.** *Structural transformations in shipbuilding: foreign experience*..... 48
- A. V. Ivankovich.** *Genesis of modern monetary civilization*..... 53
- K. O. Budnikov.** *Development of capacities of JSC Admiralty shipyards for the manufacture of large blocks*..... 55
- D. A. Bakhansky.** *The work of JSC DO Vympel in the conditions of high alert*..... 59
- D. A. Vedernikov.** *Experience of using integrated CAD and PDM systems in the framework of technological preparation of production* 63



SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

- M. A. Alexandrov, Yu. L. Borodin, A. V. Nikitin, D. A. Skorokhodov.** *Central Research Institute of Marine Engineering – 50 years in the service of the Fatherland. Scientific and technical development of mechanisms, devices and complexes of ship mechanical engineering for Russian shipbuilding and the navy* 65
- V. V. Novikov, K. N. Osipov.** *On the question of minimizing the components of the vector of diagnostic parameters of piston internal combustion engines* 70
- I. V. Pleschenkov.** *Study of additive technologies for the manufacture of thin-walled parts of thermoplastic composite materials for products of ship engineering* 75
- B. F. Dmitriev, S. Ya. Galushin, A. N. Kalmykov, Aung Thu Phio, A. D. Egorova.** *Means of improving the quality of electrical energy in ship electric power systems* 77
- JSC Compressor – it means made in Russia* 83

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

- A. G. Yureskul, E. A. Anisimov, Yu. I. Ivanov, N. A. Faddeev, N. V. Smirnova.** *Power supply system based on fuel cells for unmanned aerial vehicle* 87
- L. G. Bakumenko, A. N. Dyadik, M. V. Larionov, S. N. Surin.** *An integrated approach to power supply of autonomous unmanned underwater vehicles* 91
- E. A. Rylov.** *Spheres of use and principles of construction of VLF radio stations* 96
- I. V. Onorin, B. Yu. Semenov, R. N. Codryan.** *Analysis of the correlation of virtual modeling data of heat-loaded elements of static converters with empirical data* 99

OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

- A. G. Smirnov.** *Analysis of the operating life of floating docks* 105
- N. A. Nesterov, R. A. Andreyuk.** *Analysis of typical characteristics of navigation aids for underwater vehicles. Based on materials from domestic and foreign press* 109
- V. N. Ilyukhin.** *Relevant regulatory, organizational and technical aspects of the lifting of sunken objects. Part 1* 114
- P. I. Maleev.** *New ways of creating navigation aids based on superconductors* 119

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

- B. A. Barbanel, S. V. Fedulov, D. A. Kosarenko.** *Russian manufacturers at an American shipbuilding enterprise (late XIX – early XX centuries)* 127

Editor-in-Chief

E.A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D.S. Glukhov

Phone/Fax: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 3124565

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Editorial Collegium

G.N. Antonov, D. Sc.

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

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

E.A. Gorin, D. Sc.

V.N. 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. Rozhdstvensky, 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 № 981

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

25 июля 2020 г. на Выборгском судостроительном заводе состоялась торжественная церемония закладки пограничного сторожевого корабля ледового класса «Пурга». В церемонии приняли участие первый заместитель директора – руководитель Пограничной службы ФСБ России Владимир Григорьевич Кулишов, губернатор Ленинградской области Александр Юрьевич Дрозденко, руководители Объединенной судостроительной корпорации, проектных и научных институтов, участвующих в проекте, компаний, поставляющих основное оборудование для корабля, а также представители заказчика.

«Мы уверены, что постройка корабля подобного класса станет новым шагом в укреплении безопасности границ Российской Федерации, в том числе в стратегически важном для нашей страны Арктическом регионе», – заявил генеральный директор ПАО «Выборгский судостроительный завод» Александр Сергеевич Соловьев.



Выступает генеральный директор ПАО «Выборгский судостроительный завод» А.С. Соловьев

Корабль, который спроектирован АО «ЦМКБ «Алмаз» – одним из ведущих отечественных конструкторских бюро, будет иметь высокий ледовый класс, современное артиллерийское и ракетное вооружение, высокий уровень автоматизации и повышенные комфортные условия для экипажа. Это позволит ему нести круглогодичную службу в арктических морях России.

Пограничный корабль «Пурга» будет оснащен оборудованием для доставки грузов на берег, мощной энергоустановкой, которая обеспечит дальность плавания до 12 тысяч миль.

«Хорошие условия для экипажа, которые будут созданы на этом корабле, высокая автономность позволят совершать длительные плавания», – отметил первый заместитель директора – руководитель Пограничной службы ФСБ России генерал-полковник Владимир Григорьевич Кулишов.

Губернатор Ленинградской области Александр Юрьевич Дрозденко поз-

дравил руководство верфи и представителей заказчика со знаменательным событием: «Сегодня для всех нас – настоящий праздник. Выборгский судостроительный завод – завод с очень богатой историей, здесь реализовывалось много интересных проектов, у верфи накоплен огромный опыт строительства ледоколов. Хотелось бы, чтобы у Выборгского завода было много заказов на ближайшие годы».

Генеральный директор ЦМКБ «Алмаз» Александр Васильевич Шляхтенко в своем выступлении отметил

НА ВЫБОРГСКОМ СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ЗАВОДЕ ЗАЛОЖЕН ПОГРАНИЧНЫЙ КОРАБЛЬ ЛЕДОВОГО КЛАССА «ПУРГА»

**ПАО «Выборгский судостроительный завод»,
контакт. тел. +7 (813 78) 99 978**

В частности, на новом корабле предусмотрены хорошо зарекомендовавшие себя на корветах дизельные двигатели Коломенского завода.

Пограничный сторожевой корабль 1-го ранга «Пурга» пр. 23550 (шифр «Ермак») создается на базе патрульного корабля (шифр «Арктика»). По заказу Военно-Морского Флота России два таких корабля – «Иван Папанин» и «Николай Зубов» – в настоящее время строятся на Адмиралтейских верфях.



Закладная доска ПСКР «Пурга»

От предшественников корабль проекта «Ермак» будет иметь ряд отличий. На нем предусмотрена установка нового навигационного оборудования, средств связи и дополнительного вооружения, в том числе авиационного. При этом корабль будет иметь аналогичную прототипу энергетическую установку мощностью около 15 МВт. Водоизмещение составит около 9000 т, длина – около 115 м, ширина – 18 м, осадка – около 6 м, скорость – до 18 уз.

Контрактный срок передачи готового корабля заказчику – конец 2024 г. ■



Проектное изображение пограничного сторожевого корабля «Пурга» пр. 23550 (шифр «Ермак»)

24 июля 2020 г. на Средне-Невском судостроительном заводе состоялась торжественная церемония закладки новейшего корабля противоминной обороны (ПМО) «Лев Чернавин» пр. 12700 «Александрит».

Закладка прошла при участии руководства завода, заместителя главного командующего ВМФ по вооружению вице-адмирала Игоря Мухаметшина, главного советника генерального директора АО «ОСК» Виктора Чиркова и генерального директора ЦМКБ «Алмаз» Александра Шляхтенко. Приказом главкома ВМФ тральщику присвоено наименование в честь советского офицера-подводника, командовавшего соединениями подводных лодок Северного флота, контр-адмирала Льва Давыдовича Чернавина. Этот корабль станет восьмым в линейке проекта «Александрит», заложенным на Средне-Невском судостроительном заводе.

При строительстве данных кораблей применяются новейшие российские технологии, не имеющие аналогов в мировом судостроении. Корабли будут иметь уникальный, самый большой в мире корпус из монолитного стеклопластика, сформированного методом вакуумной инфузии. Кроме высокой прочности и малой массы к достоинствам композитного корпуса можно отнести его немагнитность, что обеспечивает повышенную живучесть корабля при поиске мин. Согласно планам именно корабли противоминной обороны нового поколения в ближнесрочной перспективе будут составлять основу минно-тральных сил ВМФ России, что существенно повысит эффективность выполнения задач по предназначению.



Закладная доска корабля ПМО «Лев Чернавин»

Корабли пр. 12700 «Александрит» имеют следующие характеристики: водоизмещение – 890 т, длину – 62 м, ширину – 10 м, полную скорость хода – 16 уз, экипаж – 44 человека. Вооружение позволяет успешно бороться с современными морскими минами.

А уже 31 июля на Средне-Невском судостроительном заводе состоялась еще одна закладка – на этот раз головного

НА СРЕДНЕ-НЕВСКОМ СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ЗАВОДЕ ЗАЛОЖЕНЫ КОРАБЛЬ ПРОТИВОМИННОЙ ОБОРОНЫ «ЛЕВ ЧЕРНАВИН» И ПАССАЖИРСКОЕ СУДНО «АНДРЕЙ ДУБЕНСКИЙ»

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



Выступает первый заместитель генерального директора АО «СНСЗ» С.М. Макеев

пассажирского судна «Андрей Дубенский» пр. А45–90.2. Название дано в память об основателе в 1628 г. острога, давшего начало городу Красноярск. На торжественной церемонии присутствовали губернатор Санкт-Петербурга Александр Беглов, губернатор Красноярского края

и торговли РФ Борис Кабаков, вице-президент по техническому развитию ОСК Василий Бойцов, руководство завода и генеральный директор Государственной транспортной лизинговой компании Михаил Полубояринов.

Строительство пассажирских судов предприятие ведет в рамках ранее заключенного контракта с этой компанией. Верфь должна построить два пассажирских судна класса «река-море» пр. А45–90.2 для Красноярского края.



Закладная доска пассажирского судна «Андрей Дубенский»

Александр Усс, заместитель министра транспорта РФ Юрий Цветков, директор Департамента судостроения и морской техники Министерства промышленности

Они будут работать на социально значимом маршруте Красноярск–Дудинка–Красноярск протяженностью до 5000 км по реке Енисей.



Торжественная церемония закладки судна «Андрей Дубенский»

Теплоходы пр. А45-90.2 представляют собой однокорпусные стальные суда длиной 99 м с тремя пассажирскими палубами, прогулочной палубой, рулевой рубкой в носовой части на второй палубе, с кормовым расположением машинного отделения и трехвальной дизельной энергетической установкой. Судно спроектировано ООО «Агат Дизайн Бюро» (Санкт-Петербург), директор–главный конструктор Сергей Подников.

Пассажирские суда этого проекта предназначены для перевозки 245 пассажиров в комфортабельных каютах. Безопасность, экономическая эффективность и высокий уровень комфорта этих судов будут отвечать современным мировым стандартам. По условиям контракта суда должны будут переданы заказчику в 2023 и 2024 гг.



Проектное изображение пассажирского судна проекта А45-90.2

Строительство пассажирских судов пр. А45-90.2 станет крупнейшим гражданским заказом в истории Средне-Невского судостроительного завода, что

открывает не только новое направление в его деятельности, но и пути масштабного обновления парка отечественных гражданских судов. ■

Развитие нового класса кораблей – вертолетоносцев – тесно связано с развитием морской доктрины нашей страны. Ближайшие 10 лет покажут, какой вариант своего развития ВМФ России выберет в качестве приоритетного – оборону в ближней и дальней морских зонах или операции на океанских ТВД, где ЭУГ, а соответственно, и УДК будут играть одну из ключевых ролей.

Для замены двух старых ДТД типа «Fearless» британский флот в 1996 г. заказал и в 2003–2004 гг. ввел в строй ДВКД (LPD) «Albion» и «Bulwark», построенные на верфи BAE Systems в Барроу-ин-Фернессе. Это достаточно крупные (полное водоизмещение – 18 500 т) корабли традиционной «доковой» архитектуры, обладающие большой док-камерой (вмещают четыре десантных катера типа LCU или один КВП LCAC) и ориентированные главным обра-

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ДЕСАНТНЫХ КОРАБЛЕЙ

ЧАСТЬ 2*

В.Н. Половинкин, д-р техн. наук., проф., заслуженный деятель науки, науч. 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

зом на перевозку техники (вместимость – до 67 различных машин, включая 31 танк, и 300 человек десанта). При этом при наличии обширной вертолетной палубы постоянное

* Продолжение. Начало см. «Морской вестник» №2 (74)

базирование вертолетов на кораблях не предусматривается, поскольку данные ДВКД должны взаимодействовать с десантным вертолетоносцем «Ocean». На «Albion» и «Bulwark» установлено также оборудование для использования их в качестве кораблей управления. Корабли оснащены дизель-электрическими ЭУ.

В качестве более дешевого варианта пополнения десантных сил Великобритании в 2000–2001 гг. заказала четыре ДТД (LSD) типа «Bay», строившихся попарно компаниями Swan Hunter в Тайнсайде и BAE Systems в Говэне и переданных флоту в 2006–2007 гг. Проект был разработан Swan Hunter на основе серии десантных кораблей «Enforcer» голландской компании Royal Schelde. Главной задачей кораблей типа «Bay» (полное водоизмещение – 16 200 т) считается перевозка и выгрузка грузов и техники, причем в основном в оборудованных портах. Доковая камера вмещает лишь один десантный катер типа LCU, при этом грузоподъемность достигает 150 машин или 24 танка, а десантовместимость – 356 человек. Авиационные возможности представлены одной взлетно-посадочной площадкой для тяжелых вертолетов. Стоимость кораблей составляла всего 95 млн. фунтов за единицу, и в целом данные ДТД являются характерным типом современных недорогих десантно-транспортных кораблей, получающих все большее распространение даже во флотах третьего мира. Таким образом, в настоящее время в Великобритании роль УДК выполняют специализированные суда, достаточно часто с гражданским экипажем, например судно «Mauntс Бэй».



Специализированное судно «Маунтс Бэй»

По классификации английского флота эти корабли считаются как ALSL (Alternative Landing Ships Logistic). За их основу взяты голландские корабли-доки типов «Rotterdam» и «Johan de Witt».

Два судна были построены компанией Swan Hunter (Tyneside) на верфи Уолсенд и два – компанией BAE Systems на верфи Говэна.



ДВКД типа «Rotterdam»

На полетной палубе могут одновременно разместиться два вертолета среднего размера, такие как EH101 Merlin. Вертолетные ангары на корабле отсутствуют.

Дизель-электрическая энергетическая система корабля состоит из двух двигателей Wärtsilа 8L26 (по 2240 кВт каждый) и двух двигателей Wärtsilа 12V26 (по 3360 кВт), а также резервных дизельных генераторов.

Тип «Bay» имеет док-камеры для катеров LCU Mk 10 (один) и LCVP Mk 5 (два), а также два самоходных понтона для формирования наплавного моста. Корабли этого типа могут транспортировать 365–700 десантников, 36 танков типа «Челленджер 2» или 150 единиц легкой техники, 200 т груза.

Водоизмещение кораблей типа «Bay» составляет 15 900 т при длине 176,6 м, ширине 26,4 м и осадке 5,8 м. Они способны развивать скорость до 18 уз, а дальность их хода составляет 8000 миль. Десантные корабли вооружены четырьмя пулеметами Mk.44 7,62-мм калибра, шестью пулеметами MAG 7,62-мм калибра, зенитным артиллерийским комплексом Phalanx CIWS и 30-мм пушкой.

Подчеркнем, что собственной авиагруппы корабли типа «Bay» не имеют, однако они оснащены полетной палубой, способной принимать вертолеты различных классов вплоть до тяжелых военно-транспортных CH-47 Chinook.

В начале 90-х гг. голландские и испанские кораблестроители совместно разработали проект многофункционального полноценного ДВКД для флотов обеих стран, по которому были построены корабли типа «Rotterdam» (головной вступил в строй в 1998 г.) для ВМС Нидерландов и «Galicia» и «Castilla» (1998–2001) для ВМС Испании. «Rotterdam» произвел большое впечатление на военно-морских специалистов всего мира. Этот ДВКД не только послужил прямым прототипом для создания подобных кораблей в ряде других стран, но и положил начало своего рода буму амфибийного строительства в мире.

При полном водоизмещении 12 750 т ДВКД типа «Rotterdam» имеет типичную «транспортно-доковую» архитектуру, высокую степень автоматизации, немалую десантовместимость (588 морских пехотинцев и 170 ед. техники) и значительные авиационные возможности. У него большая полетная палуба и ангар в надстройке для шести средних вертолетов NH90 или четырех тяжелых AW101. При этом на корабле могут базироваться и противолодочные вертолеты, для чего он оборудован погребами хранения авиационного боезапаса и гидроакустических буев. «Rotterdam» приспособлен для выполнения задач поиска и спасения, доставки гуманитарных грузов, использования в качестве корабля управления, госпитального судна, плавучей базы минно-тральных сил и т. д. ДВКД построен по коммерческим стандартам и оснащен электроэнергетической установкой. В принципе, это достаточно универсальный корабль.

В 2000 г. голландское правительство приняло решение о пополнении ВМС страны вторым улучшенным ДВКД типа «Rotterdam». Корабль «Johan De Witt» строился группой Damen с изготовлением корпуса на принадлежащей ей верфи в Галаце (Румыния) с последующей достройкой Damen Schelde во Флиссингене и был передан флоту в 2007 г.

От головного корабля «Johan De Witt» отличается размерами (полное водоизмещение доведено до 16 800 т), что позволило увеличить размеры доковой камеры, довести десантовместимость до 700 человек, а также разместить на корабле центр управления силами ВМС. Электроэнергетическая установка дополнена винторулевыми движителями.

Опираясь на опыт создания кораблей типа «Rotterdam», верфь Royal Schelde (ныне – Damen Schelde) в 90-е гг. разработала и сейчас продвигает на рынок целую гамму ДВКД (LPD) под шифром Enforcer, включающую 12 проектов различного размера как «доковой», так и авианосной (УДК) ар-

хитектуры. Хотя наиболее крупные проекты серии Enforcer не нашли заказчиков, один из «младших» вариантов стал основой для британских ДТД типа «Вау». В 2009 г. проект Enforcer «Landing Platform Dock 8000» был выбран ВМС Чили в качестве основы для постройки одного корабля (9000 т, десантовместимость – 500 человек) на национальной верфи.

Корабль имеет следующие размерения: длина – 133 м, ширина – 24,8 м, осадка – 5,8 м, водоизмещение – 6000 т.

В конце 2009 г. голландское военное ведомство выдало Damen контракт на 365 млн. евро на постройку многоцелевого судна снабжения «Karel Doorman» полным водоизмещением 27800 т для решения широкого круга задач поддержки десантных операций и обеспечения боевой деятельности ВМС. Судно оснащено доковой камерой, грузовыми палубами площадью 1730 м², обширным ангаром для базирования шести вертолетов NH90 или двух CH-47, а также значительными объемами для перевозки грузов и топлива. Постройка «Karel Doorman» велась по той же схеме, что и «Johan de Witt», и завершена к 2014 г.

Другим голландским разработчиком современных проектов десантных кораблей выступает компания IHC Merwede. Ею был создан проект заказанного Новой Зеландией относительно небольшого (полное водоизмещение – 9000 т) многоцелевого корабля «Canterbury», являющегося по сути компактным ДВКД. Основой для него послужило гражданское судно типа «ро-ро», он строился на верфи IHC Merwede в Роттердаме с достройкой компанией Tenix в Австралии и был передан заказчику в 2007 г. Корабль не имеет классического дока – два десантных катера типа LCM спускаются через рампу в корме и загружаются уже на плаву с помощью 60-тонных кранов. Десантовместимость «Canterbury» – 360 человек и 54 ед. колесной техники. В ангаре может размещаться четыре вертолета NH90.

В рамках очередного Международного военно-морского салона, проводившегося в июне 2009 г., Санкт-Петербург посетил с дружественным визитом десантный корабль с доковой камерой (корабль-док HrMs «Johan de Witt», L800), спущенный на воду в феврале 2007 г. и являющийся вторым кораблем типа «Rotterdam» боевого состава Королевских ВМС Нидерландов.



Десантный корабль-док HNLMS «Johan de Witt»

Десантные корабли-доки типа «Rotterdam» строились по проекту Enforcer Landing Platform Dock компании Royal Schelde на принадлежащей ей судовой верфи Schelde Shipbuilding, расположенной в городе Влissingен (также часто Флиссинген), Нидерланды. Данный проект был разработан на основе тактико-технического задания, выданного в рамках реализации совместной испано-голландской программы постройки однотипных десантных кораблей, имеющих доковую камеру для десантно-высадочных средств, а также вертолетную палубу и ангар для постоянного базирования авиагруппы.

По данному проекту – с небольшими отличиями – к настоящему времени в общей сложности построено восемь ДКД: – два типа «Rotterdam» для Королевских ВМС Нидерландов; – два типа «Галиция» для Королевских ВМС Испании (строились на верфи испанской компании Vaza (сегод-



«Landing Platform Dock 8000»

ня – Navanti); приняты в боевой состав флота в 1998 г. – «Galicia» и в 2001 г. – «Castilla»;

– четыре типа «Вау» для Королевских ВМС Великобритании (построены на верфях компаний Swan Hunter (первые два) и BAE Systems Naval Ships (остальные два – «Маунтс Бей» и «Кардиган Бей») на замену устаревшим десантным кораблям типа «Раунд Тейбл» и имеют несколько большие по сравнению с остальными кораблями водоизмещение и главные размерения).

Контракт на постройку головного корабля для голландского флота типа «Rotterdam», L801, был выдан компании Royal Schelde в апреле 1993 г., в 1997 г. корабль был спущен на воду и в следующем году пополнил боевой состав голландских ВМС. Оценив опыт эксплуатации головного корабля как положительный и «накопив» средств в бюджете, командование Королевских ВМС Нидерландов в 2002 г. выдало заказ на постройку второго корабля типа «Johan de Witt», но с внесением ряда усовершенствований, что привело к возрастанию стандартного (полного) водоизмещения с 9500 т (12 750) у «Rotterdam» до 12 500 т (16 680) у «Johan de Witt». Также возросли и главные размерения: длина – 176,35 м (была 162,2 м), ширина наибольшая – 27,2 м (25,0 м), осадка максимальная – 5,9 м (осталась прежней). Отличительной особенностью «Johan de Witt» также стало наличие на его борту специального командного центра для управления действиями корабельного соединения или группировки объединенных сил ВС Нидерландов или ВС стран НАТО. В мае 2006 г. корабль прошел церемонию «крещения» (т. е. официально получил право носить свое имя), а в июле 2007 г. – вступил в боевой состав флота. С ноября 2007 г. «Johan de Witt» стал активно привлекаться к учениям и различным операциям, а в середине 2008 г. представитель голландских ВМС официально сообщил о введении корабля в первую линию.

Таким образом, ДКД типа «Rotterdam» предназначены для приема на борт, транспортирования морем и высадки морского десанта численностью до одного батальона морской пехоты со штатными средствами усиления, боевой и вспомогательной техникой и вооружением, причем автономность корабля по запасам провизии в этом случае составляет 10 суток. Данные корабли способны осуществлять выпуск и прием вертолетов при состоянии моря до 6 баллов включительно, а выпуск и прием в доковую камеру десантно-высадочных средств – до 4 баллов включительно. Также возможно использование кораблей этого типа для перевозки войск и грузов морем и для решения задач в рамках спасательных (гуманитарных) или миротворческих операций.

Экипаж корабля составляет по штату 124 человека, в том числе 13 офицеров, имеются помещения для размещения до 613 человек морского десанта. Грузовые помещения корабля рассчитаны на перевозку 170 боевых бронированных машин (БТР или БМП) или 33 основных боевых танка, а доковая камера может вмещать до шести десантных катеров типа LCVP Mk3, четырех ДКА типа LCU Mk9 или типа LCM8. «Johan de Witt» дополнительно оборудован для приема двух ДКАВП типа LCAS. Данные ДКД могут обеспечивать постоянное базирование вертолетной группы: верхняя палуба (58×25 м) позволяет обслуживать одновременно два тяжелых

вертолетов типа EH101, а расположенный непосредственно перед палубой вертолетный ангар вмещает до четырех вертолетов типа EH101 или до шести средних вертолетов типа «Супер Пума» или NH90. На корабле также имеется плавучий госпиталь, оснащенный, среди прочего, операционной и медицинской лабораторией.

В 2009 г. в **Германии** был разработан план строительства флота до 2025 г. (Flotte 2025+), согласно которому предусматривается строительство двух УДК «Joint Support Ship» (JSS) и двух многоцелевых кораблей-доков «Mehrzweck-Einsatzschiff» (MZES) – последние призваны играть роль десантных транспортов, плавучих баз и судов снабжения. При этом для УДК типа JSS выдвигаются требования перевозки не менее 800 человек личного состава с техникой, для чего, по германским оценкам, потребуются корабли водоизмещением 27 000–30 000 т. В качестве альтернативы предлагается три JSS вместимостью по 400 человек с техникой при полном водоизмещении около 20 000 т. Ввиду явной дороговизны этих проектов окончательное решение по их реализации отложено.



Немецкий концепт-проект перспективного УДК

Компания Blohm + Voss (ныне – в составе ThyssenKrupp Marine Systems, или ТКМС) в последнее десятилетие в инициативном порядке разработала и продвигает на мировой рынок серию концептов ДВКД (а по сути УДК) MRD150/MHD150/MHD200 (цифра означает полное водоизмещение в сотнях тонн) оригинальной «полуавианосной» архитектуры. Вариант MHD150 способен перевозить до 776 морских пехотинцев, имеет док на два катера LCM или один КВП LCAC, а также может обеспечивать постоянное базирование в ангаре 11 вертолетов NH90. При этом электроэнергетическая установка позволяет развивать скорость до 22 уз. Корабли этих проектов предлагались ряду заказчиков (в частности, Португалии и ЮАР), но заказов так и не последовало.

Дальнейшим развитием этих проектов стал предложенный ТКМС проект модульного многоцелевого корабля MEK MESH (Multi-role Expeditionary Support Helicopter Dock) – своеобразного УДК, способного, помимо десантных задач, выполнять также функции транспорта и корабля комплексного снабжения. Полное его водоизмещение – 21 000 т, при этом внутренние объемы корабля могут варьироваться и трансформироваться по потребностям в вертолетные ангары (с размещением максимум до 14 вертолетов NH90), палубы для перевозки техники и грузов, госпитали и т. д. Проект MEK MESH предлагается в качестве основы для будущих немецких кораблей JSS.



Эсминец-вертолетоносец типа «Идзумо»

На вооружении **японских** ВМС находятся два типа УДК (в Японии они называются эскадренными миноносцами-вертолетоносцами). Первый тип – эсминцы-вертолетоносцы типа «Идзумо». Полное водоизмещение – 27 000 т; двигатели – 4 ГТУ General Electric мощностью 112 000 л.с.; скорость хода – 30 уз; экипаж – 470 человек и 500 человек десанта; авиагруппа – до 28 летательных аппаратов (вертолетов, конвертопланов, истребителей).



Эсминец-вертолетоносец типа «Хюга»

Второй тип – эсминцы-вертолетоносцы «Хюга». Полное водоизмещение – 18 000 т; двигатели General Electric мощностью 100 000 л.с.; максимальная скорость – 30 уз; экипаж – 370 человек; десант – 100 человек; авиакрыло – 11 вертолетов.

Французские ВМС располагают широко известными нам УДК типа «Мистраль». Эти корабли имеют полное водоизмещение в 32 300 т; двигатели: 3 дизель-генератора Wärtsilä 16V32 (6,2 МВт), 1 дизель-генератор Wärtsilä 18V200 (3,3 МВт), 2 винторулевые колонки Alstom Mermaid (7 МВт); суммарная мощность двигателей – 20 400 л.с.; скорость хода – 19 уз; дальность хода – 10 700 мор. миль; экипаж – 160 человек; десант – до 900 человек морской пехоты; авиакрыло – 16 тяжелых либо 32 легких вертолета.



Французский УДК типа «Мистраль»

ВМС **Великобритании** располагают вертолетно-десантным кораблем-док «HMS Albion» (L14). Полное водоизмещение – 18 500 т; двигатели – 4 дизеля суммарной мощностью 21 213 л.с.; скорость хода – 18 уз; дальность хода – 8600 миль; экипаж – 325 человек; авиакрыло – 3 вертолета «Си Кинг» Mk 4.



Вертолетно-десантный корабль-док «HMS Albion» (L14)

Первым десантным кораблем **китайского флота** нового поколения стал ДВКД «Kunlunshan» пр. 071, построенный шанхайской верфью Hudong-Zhonghua Shipyard и введенный в состав ВМС Китая в конце 2007 г. Крупный корабль пр. 071 (западное обозначение Yuzhao) имеет (оценочное) полное водоизмещение – от 20 000 до 25 000 т, образцом для которого явно послужили американские ДВКД. «Kunlunshan» способен перевозить, как считается, до 800 человек с техникой, в обширной доковой камере размещается четыре малых либо два больших КВП китайского производства, а в ангаре обеспечено базирование до четырех тяжелых вертолетов Z-8. Сейчас в Шанхае ведется строительство следующих кораблей пр. 071. Китайское объединение CTSC, кроме того, в 2008 г. предлагало уменьшенный вариант данного проекта (полным водоизмещением 13 000 т) на тендер в Малайзии.

Таким образом, сегодня в Китае стоят на вооружении УДК пр. 071 типа «Циньчэньшань». Стандартное водоизмещение – 19 000 т; двигатели – 4 дизеля суммарной мощностью 47 200 л.с.; максимальная скорость – 20 уз; дальность хода – 11 000 км; десант – 1000 человек; авиакрыло – 4 вертолета Z-8.

26 сентября 2019 г. в Китае был выведен из сухого строительного дока судостроительного предприятия Hudong-Zhonghua Shipyard компании Hudong-Zhonghua Shipbuilding Group (входящей в состав объединения Shanghai Shipbuilding Company китайской государственной судостроительной корпорации China Shipbuilding State Corporation – CSSC) в Шанхае и перебуксирован к достройочной стенке для завершения работ головной строящейся для ВМС НОАК универсальный десантный корабль пр. 075.

УДК пр. 075 является крупной единицей, сопоставимой по размерам в своем классе с УДК ВМС США. Длина УДК составляет, по разным данным, от 235 до 250 м, а полное водоизмещение, по неофициальным китайским источникам, – около 36 000 т. Американские УДК типов «Tarawa», «Wasp» и «America» имеют длину 254–257 м и полное водоизмещение от 40 000 до 46 000 т.

По ряду сообщений, на Hudong-Zhonghua Shipyard начато строительство еще двух кораблей пр. 075.

Первым шагом в развитии современных десантных кораблей в **Италии** стало создание ДВКД оригинальной конструкции типа «San Giorgio». При полном водоизмещении всего 8000 т этот корабль имеет авианосную архитектуру со сплошной верхней полетной палубой и весьма высокие транспортные возможности (до 400 человек с техникой), хотя из-за отсутствия ангара не обеспечивает постоянного базирования вертолетов. «San Giorgio» может использоваться в качестве учебного корабля, а также с самого начала ориентировался на вероятное применение в гуманитарных миссиях. В 1987–1994 гг. в состав итальянских ВМС были введены три



ДВКД типа «San Giorgio»

ДВКД этого типа: «San Giorgio», «San Marco» и модифицированный «San Giusto». Первоначально они имели носовую рампу для прямой высадки техники на берег, однако по опыту эксплуатации такой метод был признан нецелесообразным.

В начале 2006 г. министерством обороны страны был одобрен 15-летний план развития итальянского флота, согласно которому до 2020 г. планируется замена трех ДВКД типа «San Giorgio» кораблями того же класса, но большего водоизмещения, а итальянский легкий авианосец «Guiseppe Garibaldi» предполагается заменить большим УДК (LHA), способным нести самолеты F-35B.

Недавно спущенный на воду итальянский УДК «Trieste» имеет длину 245 м и полное водоизмещение 33 000 т. Постройка для ВМС Италии УДК (Landing Helicopter Dock, LHD) была предусмотрена принятым итальянским парламентом в мае 2015 г. законом о флоте (Legge Navale) с общей стоимостью финансирования 5,428 млрд. евро. Помимо строительства УДК, данный закон предусматривал постройку для итальянского флота также шести (затем семи) больших «патрульных кораблей» типа PPA (общая плановая стоимость шести единиц была заявлена 2,62 млрд. евро с опционом еще на четыре корабля. Головной корабль PPA был начат постройкой на верфи Fincantieri в Мудджиано в Специи 13 февраля 2017 г., корабля комплексного снабжения LLS (плановая стоимость – 325 млн. евро, был начат постройкой, как «Vulcano», на верфи Fincantieri в Рива Тригозо в Генуе 12 июля 2016 г., сейчас – в достройке на плаву) и двух многоцелевых скоростных катеров для сил специального назначения UNPAV (40 млн. евро, постройку осуществила компания Intermarine).



Итальянский УДК L 9890 «Trieste»

В 2008 г. правительство **Швеции** приняло решение о строительстве для национального флота двух многоцелевых кораблей под обозначением L10, ввод которых в строй был первоначально намечен на 2014–2015 гг., проект разрабатывается шведской фирмой Saltech. Корабли должны решать задачи перевозки и высадки войск, а также выполнять роль судов снабжения и плавучих баз. Полное водоизмещение L10 составит 13 430 т, площадь грузовых палуб – 2150 м², десантовместимость – 170 человек, в ангаре должны базироваться два вертолета NH90. Доковая камера отсутствует, но обеспечивается размещение до 12 десантно-штурмовых катеров типа Combatboat со спуском их как слипом, так и краном.



УДК «Хуан Карлос I»

В состав **испанских ВМС** входит УДК «Хуан Карлос I». Водоизмещение – 27 079 т; двигатели – дизель-электрическая двигательная установка суммарной мощностью 30 000 л. с.; скорость хода – 21 уз; дальность хода – 9000 мор. миль; экипаж – 900 человек; десант – 1200 морских пехотинцев; авиагруппа – до 30 самолетов и вертолетов.

8 сентября 2015 г. командование ВМС **Бразилии** издало приказы о включении в состав флота приобретаемого у Франции ДВКД L9012 «Siroco» (второго бывшего французского корабля типа «Foudre») и о подготовке экипажа для него. Приобретаемый корабль получил бразильское название G40 «Bahia» и официально классифицирован в ВМС Бразилии как Navio Doca Multipropósito («многоцелевой корабль-док»).

Южная Корея стала третьим в мире обладателем полноценного УДК (после США и Франции), введя в состав флота в 2007 г. УДК, спроектированный и построенный Hanjin Heavy Industries в Пусане. При полном водоизмещении 19 000 т (18 000) «Dokdo» имеет авианосную архитектуру, доковую камеру с двумя КВП LCAS и подпалубный ангар, вмещающий до 10 вертолетов UH-60. Десантовместимость – 720 человек и до 40 ед. техники (включая шесть танков). Корабль несет достаточно значительное оборонительное вооружение. Дизельная ЭУ обеспечивает скорость хода до 23 уз.

УДК типа «Dokdo» – серия вертолетоносцев проекта «LPH» ВМС Республики Корея, начатая постройкой 12 июля 2005 г. на Hanjin Heavy Industries & Constructions Co.



Универсальные десантные корабли типа «Dokdo»

Длина корабля – 199 м, ширина – 31 м, водоизмещение – 14 000 т (пустой) и 18 000 т (19 000) (полный). Имеет доковую камеру для десантно-гусеничных машин-амфибий (AAV7) и десантных катеров на воздушной подушке LCAS. Под авианосной палубой расположен ангар.

Вместимость: 720 десантников, 400 членов команды, 10 танков, 10 грузовиков, 7 машин AAV, 10 вертолетов UH-60 и два катера LCAS либо 4 катера LCAS.

Системы самообороны: зенитно-ракетный комплекс ASMD (21 пусковая установка), зенитно-артиллерийский комплекс Goalkeeper (2 семиствольных 30-мм установки).

Рассматривается возможность базирования на «Dokdo» самолетов F-35B. Скорость максимальная – до 22 уз, крейсерская – 18 уз. Дальность плавания – 10 тыс. миль. Мощность дизельной ГЭУ – 30,6 МВт (4 установки SEMT Pielstick 16 PC 2,5). Навигационная РЛС: AN/SPS-95K

В целом концепция УДК «Dokdo» представляет определенный интерес, поскольку, судя по всему, в отличие от подобных кораблей других стран ориентирована не на заморские экспедиционные действия, а на операции в прибрежных водах. Южнокорейский флот планирует иметь три таких УДК, рассматривая их в качестве флагманских единиц трех формируемых корабельных ударных групп.

В настоящее время завершается разработка в Южной Корее проекта УДК, который получил название «LPH-II». Корабль будет построен на базе уже состоящих на вооружении

Южной Кореи вертолетоносцев «Dokdo», первый корабль должен поступить на вооружение ВМС уже в 2020 г.

Водоизмещение корабля составит около 30 000 т, он должен будет принимать на борт 16 истребителей с укороченным взлетом и вертикальной посадкой. Вероятно, речь идет о F-35B Lightning II. Предполагается, что LPH-II также сможет перевозить до 3 тыс. солдат и 20 бронемашин. Вероятно, на палубе судна также появится трамплин, который облегчит взлет самолетов.



УДК «LPH-II»

Индийский флот планирует построить на национальных верфях четыре ДВКД. Предполагается, что собственный проект такого корабля будет разработан на основе изучения конструкции купленного индийцами в США в 2006 г. ДВКД «Trenton» (типа «Austin»).

Объединение Singapore Technologies Marine спроектировало и построило для ВМС Сингапура 4 небольших (8500 т) ДВКД типа «Endurance», переданных флоту в 2000–2001 гг., которые считаются танкодесантными кораблями (LST). Они способны нести 2 десантных катера типа FCU в доковой камере и 2 вертолета «Super Puma» в ангаре. Десантовместимость составляет 350 человек и до 40 ед. техники (или 18 танков). Корабли типа «Endurance» с различными модификациями активно продаются ST Marine на экспорт, и в 2008 г. Таиланд заключил контракт стоимостью 144 млн. долл. на постройку в Сингапуре одного такого ДВКД.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПРОЕКТЫ

Отечественный опыт можно оценить только по нереализованному УДК *пр. 11780*. Эти корабли должны были иметь нормальное водоизмещение в 25 000 т; в качестве двигателей предполагалась котлотурбинная установка мощностью 180 000 л. с.; максимальная скорость – 30 уз; дальность хода – 8000 мор. миль; десант – 1000 человек, до 40 танков; авиакрыло: десантный вариант – 12 Ка-29 или противолодочный вариант – 25 Ка-27.



Модель УДК пр. 11780 шифр «Бизон»

Несколько слов об истории постройки ДК, в том числе и УДК, в СССР. Военно-морская доктрина страны на тот период не предусматривала проведения десантных операций на удаленных территориях (загоризонтной высадки десантов). С учетом этого ВМФ СССР довольствовался классическими большими ДК (БДК). С 60-х по 80-е гг. прошлого столетия были построены 14 БДК пр. 1171 шифр «Тапир» и 28 БДК пр. 775 и пр. 775.2.

Основные элементы судна типа «Капитан Смирнов»
пр. 1609 и вертолетоносца пр. 10200



БДК пр. 1171

Корабли пр. 1171 водоизмещением около 5000 т доставляли до 400 десантников с техникой. Размещение на них вертолетов и десантных катеров не предусматривалось.

Корабль этого проекта мог вмещать до 20 основных боевых танков, или 45 БТРов, или 50 грузовых автомобилей и 300–400 человек десанта (два кубрика десанта, под первым и четвертым твиндеками). Корабль мог также нести до 1000 т различных грузов. В носовой части находится отсека для бронетехники, там же имеется десантная аппарель, закрытая раздвижными воротами, а в корме для погрузочно-разгрузочных операций оборудован откидной лацпорт.

Основное вооружение кораблей пр. 1171 «Тапир» состоит из одной универсальной спаренной корабельной артиллерийской установки калибра 57 мм – ЗИФ-31Б. Также для поражения береговых целей и поддержки десанта БДК оснащены двумя пусковыми установками реактивной системы залпового огня А-215 «Град-М» дальностью действия около 21 км. Для противовоздушной обороны большинство кораблей серии вооружалось двумя-тремя переносными зенитно-ракетными комплексами «Стрела-3».



БДК пр. 775

Серия больших десантных кораблей пр. 775 (БДК) построены в Польше на верфи Stocznia Polnosna в Гданьске для ВМФ СССР. Корабли предназначены для высадки морского десанта на необорудованное побережье и переброски морем войск и грузов. Корабли пр. 775 способны транспортировать различные виды бронетехники, включая танки и являются основой уже современного российского десантного флота. До 1977 г. они классифицировались как «средние десантные корабли».

На смену этим кораблям должны были прийти корабли нового пр. 778, первые два корабля были заложены также на верфи в Гданьске, имели большее водоизмещение по сравнению с пр. 775. После распада СССР в 1992 г. оба недостроенных корабля нового проекта были разрезаны на стапелях.

Десантовместимость БДК пр. 775: 10 средних танков и 340 чел., 12 ед. бронетехники и 340 чел., 3 средних танка, 3 САУ 2 С9 «Нона-С», 5 МТ-ЛБ, 4 грузовых автомашины и 313 чел.

Для обстрела береговых укреплений и уничтожения живой силы противника десантные корабли пр. 775 используют две ПУ МС-73 РСЗО А-215 «Град-М» калибра 122-мм, способные вести огонь с интервалом 0,5 секунды на дальность 21 км. Из артиллерийского вооружения БДК имеют две спа-

Элементы	Пр. 1609	Пр. 10200
Водоизмещение, т: – порожнем – стандартное – полное	15825 – 35900 (в полном грузу)	22250 24000 31000
Главные размерения, м: – длина наибольшая (по КВЛ) – ширина наибольшая (по КВЛ) – осадка – высота борта на миделе	227,4 (211) 30 (30) 9,9 21,0	228,3 (211) 40,3 (30) 8,9 21,0
Энергетическая установка: – тип – мощность – суммарная мощность, л.с. – электрогенератор, кВт	Газотурбинная с теплоутилизационным контуром 2 × 25000 5200	Газотурбинная с теплоутилизационным контуром 2 × 25000 12000
Скорость хода, уз.	25	25
Дальность плавания, мили при скорости хода, уз	22000 (менее 25)	12000(18)
Вооружение: – авиационное – зенитное ракетное – артиллерийское – радиотехническое – средства радиоэлектронной борьбы	– – – 2 навигационных РЛС –	28 вертолетов типа Ка-27 2 ЗРК «Кинжал» (12×8 ПУ с вертикальным стартом ЗУР) 8×6 30-мм автоматов АК-630М с 4 СУ типа «Вымпал» РЛС типа «Фрегат-МА», «Подкат», «Вайгач», система приводов вертолетов, БИУС ПУ для постановки ложных целей около 960
Экипаж, чел.	39+8 практикантов+8 пассажиров	Возможен прием до 300 десантов

ренные 57-мм АУ АК-725 с дистанционным наведением. Для усиления огневой мощи и средств ПВО на БДК пр. 775М вместо двух АК-725 был установлен артиллерийский комплекс, в состав которого входят одна установка АК-176 и две установки АК-630М.

Вместе с тем в СССР был разработан проект десантного вертолетоносца пр. 10200, шифр «Халзан», на базе гражданского газотурбинного ролкера типа «Капитан Смирнов» пр. 1609, (табл. 3).

Дальнейшим развитием корабля пр. 10200 стал корабль пр. 10200М, разработанный коллективом прославленного Невского ПКБ.



Корабль пр. 10200М

В конечном счете было принято недостаточно обоснованное решение о нецелесообразности создания противолодочного вертолетоносца этого проекта, так как он не может обеспечить достаточного уровня боевой устойчивости противолодочных сил, входящих в состав группировки.

Кроме того, в заключении отмечалось, что в интересах наращивания противолодочных возможностей ВМФ разработку пр. 11780 нового крупного (водоизмещение – до 30 000 т) десантного корабля с доковой камерой и групповым базированием вертолетов следует вести с учетом возможности его привлечения к решению и противолодочных задач (этот корабль

в то время предполагалось строить в Калининграде на заводе «Янтарь», но намерение так и осталось нереализованным).

За основу пр. 11780 были взяты тяжелые авианесущие крейсера типа «Минск» (пр. 1143). По замыслу конструкторов, корабль проектировался под задачу загоризонтной высадки десанта по образцу американского УДК «Тарава».

К сожалению, скорее всего по идеологическим соображениям, ВМФ от данного проекта отказался, хотя для отечественного кораблестроения он был прорывным и у корабелов и военных моряков вызвал живой интерес.

Несмотря на это, до развала СССР в состав ВМФ были введены два оригинальных типа десантных кораблей, отвечающих новым веяниям. Были построены три БДК пр. 1174, шифр «Носорог»: «Иван Рогов», «Александр Николаев» (оба для Тихоокеанского флота), «Митрофан Москаленко» (для Северного флота). Это были достаточно универсальные корабли водоизмещением 14 000 т, соединяющие в себе качества БДК и ДВК. БДК пр. 1174 мог высадить десант на берег, для этого имелись носовые аппарели. Он также имел две вертолетные площадки, нес 4 вертолета Ка-29 (корабельный транспортно-боевой вертолет). В носовой части БДК располагался танковый трюм длиной 54 м, шириной 12 м и высотой около 5 м. Он применялся при высадке на берег «на упор». В кормовой части была расположена доковая камера длиной 75 м, шириной 12 м и высотой около 10 м. В доковой камере могли размещаться: 6 десантных катеров пр. 1785 или пр. 1176; три десантных катера на воздушной подушке пр. 1206, шифр «Кальмар»; десантные катера на воздушной каверне пр. 11770, шифр «Серна».



БДК пр. 1174

Корабли пр. 11770 были своеобразным аналогом западных УДК. Единственным отличием от них было отсутствие сплошной полетной палубы, две посадочные площадки находились на корме и в средней части корабля. Они были соединены специальным проходом для доставки вертолетов. Кроме этого, наши корабли имели значительно более мощное пушечное и ракетное вооружение, чем западные аналоги. Корабли могли высадить на берег 500 морских пехотинцев и 50 танков или 80 бронетранспортеров.

На БДК пр. 1174 были полубак и развитая кормовая надстройка. Из-за этого они имели довольно громоздкий вид. Наличие крупногабаритной надстройки объяснялась использованием в качестве прототипа корпуса БДК пр. 1171 и необходимостью размещать новые объемы, вызванные изменениями проекта, в надстройке.

Полное водоизмещение – 14 060 т, дальность плавания на 18 уз при нормальном запасе топлива – 4000 миль, при максимальном запасе топлива – 7500 миль. Автономность корабля по запасам провизии – 15 суток при перевозке 500 десантников и 30 суток при перевозке 250. Корабль также оснащен системами приема жидких и твердых грузов в море.

Артиллерийское вооружение включает одну 76-мм артиллерийскую установку АК-726 с РЛС управления «Турель» и четыре шестиствольные 30-мм автоматические пушки АК-630 с РЛС управления «Вымпел». На корабле размещена двух-

балочная пусковая установка (ПУ) ЗРК «Оса-М» с боезапасом 20 ракет. Имеются четыре счетверенные ПУ для ПЗРК (МТУ-4У). Для огневой поддержки десанта используется одна установка РСЗО А-215 «Град-М».

Вторым проектом того времени стал большой транспорт вооружения «Анадырь» пр. Р-756. По сути, это было судно-лихтеровоз. Он имел двигатели, мощность которых позволяла идти со скоростью 21 уз, что говорило о его некоммерческом применении. Кроме того, на корабле была предусмотрена полетная палуба для вертолетов. Для каких целей планировалось использовать «Анадырь», до сих пор точно неизвестно, но на Тихоокеанском флоте корабль вошел в состав 22-й дивизии десантных кораблей. Эта дивизия отвечала за проведение десантных операций в дальней океанской зоне.

Характеристики большого транспорта вооружения «Анадырь» пр. Р-756

Водоизмещение, т:	
стандартное	16500
полное	27000



Большой транспорт вооружения «Анадырь» пр. Р-756

Размерения, м:	
длина	226,05
ширина	30,01
осадка	6,5
Скорость полного хода, уз	20
Дальность плавания 15-узловой скоростью, мили	8000
Автономность, сут	45
Силовая установка	4x8260 л.с., электродвигатели,
.	4 ДГ «Wartsila-Wasa» 16V32D
Грузоподъемность, т	7500
Экипаж, чел.	80

Судьба этих четырех кораблей была незавидна. Решение об их утилизации, скорее всего, было недостаточно продумано, так как корабли пр. 1174 практически не уступали американским УДК по своим возможностям.

В конце нулевых годов российский ВМФ стал восстанавливать свои силы. Программа военного кораблестроения сегодня включает все классы кораблей и судов. Принято обоснованное решение о необходимости в ближайшем будущем иметь в составе флота корабли проекции силы – УДК. Такое решение определяет логика мирового развития. В соответствии с этим решением были достроены два БДК пр.11711 «Иван Грен» и «Петр Моргунов». Справед-



БДК «Иван Грен» пр. 11711

Таблица 4

Десантные возможности российских кораблей

Десант	Пр. 11780	БДК «Иван Грен»	УДК «Прибой»	БДК пр. 775
Вертолеты	12	2	16	–
Морские пехотинцы	1000	300	500	340
Десантные катера	4	4	6	–
Бронетехника (БТР/ОБТ)	60/40	36/13	50/10	12/10
Тип по американской классификации	LHA	LSD	LHD	LSD

ливости ради, надо сказать, что рекордная длительность их строительства была связана не с деятельностью прославленного Невского ПКБ, а с требованиями к кораблю со стороны Министерства обороны, которые неоднократно менялись. Первоначально корабли вообще должны были быть десантными класса река-море, способными проходить через шлюзы внутренней водной системы. Фактически же получились обычные БДК, только с вертолетной площадкой и двумя вертолетами Ка-29.

В настоящее время продолжается строительство БДК по переработанному проекту с усиленным вооружением. Однако следует отметить, что это большие десантные корабли, а не УДК.

В мае 2020 г. Минобороны РФ подписало с керченским судостроительным заводом «Залив» контракт на постройку первых двух российских УДК на общую сумму около 100 млрд. рублей. Как сообщали ранее источники ТАСС в судостроительной отрасли, водоизмещение кораблей нового для отечественного флота класса составит более 30 тыс. т, максимальная длина — около 220 м. Универсальные десантные корабли, будут способны нести группировку тяжелых вертолетов различного назначения.

УДК пр. 23900 имеют надстройку сдвинутую к правому борту, за счет чего организуется полетная палуба шириной 33 м с шестью взлетными позициями. С ее помощью обеспечивается работа вертолетов различного назначения — ударных Ка-52К, транспортно-боевых Ка-29 или противолодочных Ка-27. Всего на палубе и в ангаре предусматривается место для 20 вертолетов разных типов. Возможно, в перспективе их дополняют самолеты укороченного или вертикального взлета. Корабли проекта 23900 оснащаются доковой камерой в которой транспортируются десантные катера пр. 11770 «Серна» или иные плавсредства.

УДК пр. 23900 сможет перевозить до 1000 человек десанта и до 75 ед. бронетехники — в зависимости от ее типа. Доковая камера вместит до шести катеров.

Известно, что новые корабли получат различное вооружение для самообороны. По разным оценкам, корабль будет иметь мощные артиллерийские и ракетно-артиллерийские системы ПВО, противоторпедные, а возможно и противолодочные комплексы и т.д. Также на борту устанавливается развитое радиоэлектронное вооружение, в т.ч. средства РЭБ. При этом ударные системы на корабле не предусматриваются.

Экипаж новых УДК будет включать 320 человек. Автономность — 60 суток. Полная скорость будет достигать 22 уз., дальность плавания — 6 тыс. морских миль. В составе корабельных групп новые УДК смогут действовать на большом удалении от баз и решать задачи высадки десанта, участвовать в гуманитарных операциях и т.д.

Президент РФ В.В. Путин на церемонии закладки двух УДК на заводе «Залив» 20.07.2020 г. заявил: «ВМФ всегда надежно защищал рубежи России. И в наши дни он играет исключительно важную роль в обеспечении безопасности России, твердо стоит на страже национальных интересов, помогает поддерживать стратегический баланс и стабильность в мире».



Универсальный десантный корабль пр. 23900 АО «Зеленодольское проектно-конструкторское бюро». Плакат с церемонии закладки на ООО «Судостроительный завод «Залив» в Керчи 20.07.2020

В ключевых районах Мирового океана находится порядка 60 наших кораблей и судов обеспечения, почти половина — в дальней морской зоне, и такие длительные морские походы, демонстрация российского флага проводятся в последние годы на постоянной основе».

У России — одна из самых протяженных береговых линий и выход к трем океанам. «Будем и впредь держать курс на развитие современного, боеспособного флота, строить корабли, оснащенные перспективными образцами вооружения и техники», — заверил В.В. Путин. За 8 последних лет в боевой состав флота вошли более 200 кораблей, катеров и судов различного класса, и президент призвал и дальше последовательно выполнять мероприятия Государственной программы вооружений, чтобы к 2027 г. доля современных кораблей в ВМФ превысила 70 процентов.

«Наша страна входит в число ведущих морских держав, а российские корабли эффективно решают весь комплекс поставленных задач. Так должно быть и так будет всегда», — заявил президент России 20 июля 2020 г. в Керчи.

Сегодня на мировом рынке вооружений присутствует значительное количество разных типов кораблей, обладающих как десантными, так и боевыми возможностями, при этом самый крупный подкласс — УДК — по своим размерениям и боевому потенциалу соответствует среднему авианосцу.

В целом можно условно выделить три основные подгруппы современных крупных десантных кораблей, имеющих экспортные перспективы:

- УДК полным водоизмещением от 16 000 до 30 000 т с расширенными авиационными возможностями;
- многофункциональные ДВКД полным водоизмещением от 9 000 до 20 000 т, ориентированные на решение максимально возможного количества задач;
- «дешевые» ДТД и малые ДВКД полным водоизмещением от 6 000 до 13 000 т, ориентированные главным образом на решение десантно-транспортных задач.

Фактически первые две подгруппы близки друг другу по идеологии, в западной терминологии их практически не различают, а объединяют в единый класс LHD. В качестве новых «переходных» подклассов можно выделить гибридные суда, сочетающие десантно-транспортные возможности с задачами судов снабжения, причем количество таких кораблей в перспективе будет увеличиваться.

Несмотря на бум приобретения и строительства современных крупных десантных кораблей, рынок их остается весьма небольшим в количественном отношении. Особенно это касается УДК, затраты на строительство, укомплектование и эксплуатацию которых настолько велики, что делают контракт на поставку такого корабля по степени уникальности сопоставимым с контрактами на постройку полноценных авианосцев. Ввиду этого максимум, который могут себе позволить «средние» флоты мира в десантной категории, являются ДВКД. Предложение именно этого подкласса кораблей развивается в последнее время наиболее активно. ■

Европейский рынок речных круизов продолжает динамично развиваться. На сегодняшний день европейские речные круизы занимают лидирующее положение среди всех речных круизов по всему миру, поэтому особый интерес представляет получить информацию о современных трендах, инновациях, предложениях рынка или модернизации отечественных речных круизных пассажирских судов.

Цель статьи – анализ опыта европейских речных круизов и пассажирских судов, построенных в крайние годы.

Навигацию 2020 г. на речных круизных пассажирских судах (РКПС) по всему миру из-за пандемии COVID-19 можно назвать катастрофической. Большая часть круизных судов до сих пор (лето 2020 г.) находится в отстое, круизы отменены. Первые речные круизы стартовали в Европе и России только в конце июня, некоторые ведущие европейские круизные компании объявили о том, что в навигацию 2020 г. работать не будут, американские операторы планируют запустить круизы в августе [1], круизы в Китае и Египте также пока отменены. Пострадал также и прогулочный флот, и флот для однодневных круизов (классификация европейских круизных судов была дана в работе [2]) [3, 4]. По сути, сейчас нет «въездных» туристов, до разрешения проблемы с COVID-19 круизные компании вынуждены будут ориентироваться на «местных» туристов, что для круизного речного рынка также является проблемой: основные клиенты на таких судах – иностранцы.

Вообще же, если не учитывать нынешнюю навигацию, европейскому речному круизному рынку присущ выраженный рост. С 2013 г. происходит увеличение числа круизов прежде всего за счет американских туристов. Пассажиропоток на европейских внутренних водных путях (ВВП) сильно зависит от сезона: объем перевозок в пиковый весенне-летний период выше осеннего в 1,8–2 раза, зимнего – в 3 раза [4]. В 2018 г. на РКПС было перевезено 1,64 млн. пассажиров (на 14,6% больше, чем в 2017 г.), в их числе 37,7% составляли американцы и канадцы, 28,1% – немцы, 12,8% – британцы и ирландцы [5]. Динамику перевозок и распределение по национальностям см. на рис. 1.

В 2018 г. увеличился спрос на европейские круизы у туристов из Азии, России, Скандинавии и Восточной Европы (суммарно на 41%), Великобритании и Ирландии (на 31%). Количество американских и канадских туристов возросло за год на 14,3%, немцев – на 14,7% [5].

Меняется возрастная структура пассажиров и повышается спрос на дорогие круизы. С 2018 г. началось «омолаживание» речных круизов. К примеру, доля немецких туристов в возрастной группе 41–55 лет выросла на 6% до 18,3%, в возрастной группе 26–40 лет – более чем в 4 раза до 8,3% по сравнению с 2017 г. В премиум-сегменте спрос за год вырос на 6%, в сегменте люкс и ультра-люкс – на 8% [5].

Более половины всего пассажиропотока на европейских ВВП приходится на Швейцарию, Германию и Францию [4]. В первую очередь, это объясняется тем, что практически половина всех европейских речных круизных пассажирских судов (РКПС) (43%, или 153 ед.) работает под швейцарским флагом, причем это суда не только в системе Рейн–Майн–Дунай, но и на Роне, Соне, Сене и Эльбе. Это объясняется тем, что головные офисы или представительства большинства речных круизных операторов находятся в Базеле и других швейцарских городах [5]. В Германии зарегистрировано

РАЗВИТИЕ ЕВРОПЕЙСКОГО ФЛОТА И РЫНКА РЕЧНЫХ КРУИЗОВ

*А.Г. Егоров, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
«Морское Инженерное Бюро-СПб»,
контакт. тел. (812) 233 6403, 232 8538*

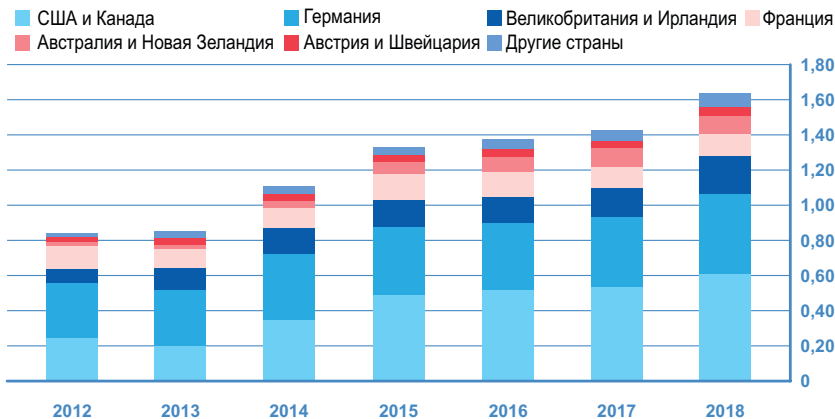


Рис. 1. Динамика перевозок за 2012–2018 гг. и распределение по национальностям на европейских РКПС, млн. пассажиров. Источник: [5]

58 РКПС (16%), 783 пассажирских судна для однодневных круизов по рекам и каналам и 130 – для озерных прогулок. В Нидерландах и Мальте зарегистрировано по 43 РКПС (12%). Во Франции зарегистрировано 32 РКПС (9%), 365 пассажирских судов для однодневных круизов по рекам и каналам. Особенностью французского круизного рынка является сегмент небольших круизных судов (менее 40 пассажиров), таких судов работает на французских реках под французским флагом 19 ед. Под флагом Португалии работает 14 РКПС, все на реке Дору. В Болгарии зарегистрированы 4 РКПС, суда работают на Дунае. На линии между Стокгольмом и Гётеборгом по Гёта-каналу под шведским флагом эксплуатируются 3 РКПС [5]. Австрийский участок европейских ВВП – один из самых важных для речного европейского круизного рынка. При этом РКПС под австрийским флагом практически отсутствуют – всего 2 судна. Австрийские компании более активны в сегменте однодневных круизов. Такие компании в Австрии перевозят около 800 тыс. человек в год, в том числе для проведения банкетов и тематических вечеринок [4]. По одному РКПС зарегистрировано в Бельгии, Люксембурге, Чехии, Великобритании и Польше [5].

По данным за 2016 г., в сегменте пассажирских перевозок в Европе, включая круизы, однодневные путешествия по рекам, каналам и озерам, паромные перевозки, работало около 4100 компаний с 18 645 сотрудниками [5]. Распределение по странам см. на рис. 2.

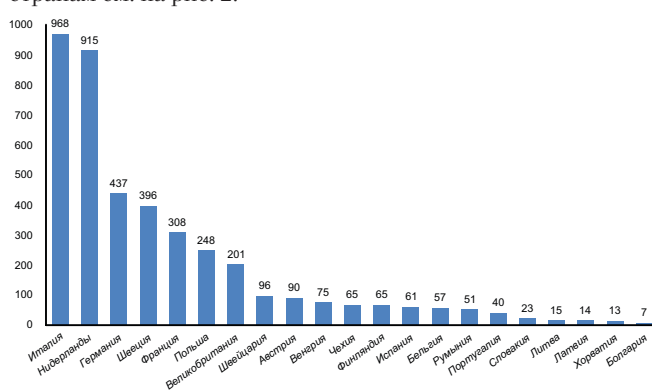


Рис. 2. Распределение по странам компаний, занимающихся пассажирскими перевозками в Европе, ед. Источник: [5]

Практически во всех европейских странах, кроме Швеции, с 2012 по 2016 г. выросло количество работников пассажирской отрасли, суммарно на 3948 человек (более 20% за 4 года) [5].

По данным на 2018 г., 70% всего европейского флота РКПС (253 судна) сосредоточено в системе Дунай – Майн – Рейн. На реках Рона и Сона работает 22 судна (в 2006 г., к примеру, было 10), на Сене – 20 судов (в 2006 г. – 5), на реке Дору – 20 судов (в 2006 г. – 6). Всего в навигацию 2018 г. работало 359 круизных судов общей пассажироместимостью более 52 000 человек [5]. В 2016 г. было сдано в эксплуатацию 20 РКПС, в 2017 г. – 17 судов, в 2018 г. – 10 РКПС и 3 судна были существенно модернизированы, включая одно переоборудование из грузовой баржи [7]. Для сравнения, общая пассажироместимость российских РКПС, по данным на 2019 г., составляла 24 602 человека [6] (практически в два раза меньше). Распределение европейских РКПС по рекам см. на рис. 3.

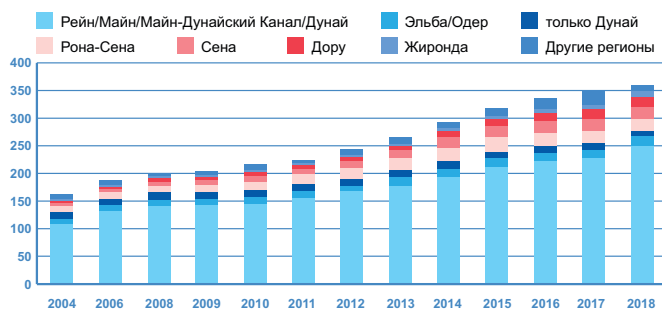


Рис. 3. Распределение европейских РКПС по рекам, ед. Источник: [5]

В 2019 г. построили 20 новых круизных судов [7]. В 2020 г. компания Viking River Cruises уже получила 4 новых европейских РКПС (продолжение серии «Viking Longship» [8]), еще 2 судна должны быть достроены до конца года [9]; компания Scylla 1 судно («Geoffrey Chaucer»), еще 2 будут сданы до конца года [10]; компания Avalon Waterways 1 судно («Avalon view») [11]; компания AmaWaterways 1 судно («AmaSiena») [12]; компания Nicko Cruises 1 судно («NickoSpirit») [13]; компания Swiss Excellence River Cruise 1 судно («Excellence Empress»); компания Plantours 1 судно («Lady Diletta»); компания Tauck 1 судно («Andorinha») для реки Дору; 2 РКПС «Andrea» и «Annika» компании Rijfers River Cruises, «Travelmarvel Polaris» компании Travelmarvel, «São Gabriel» компании Uniworld (для реки Дору), «Amadeus Imperial» компании Lüftner Cruises достраиваются на плаву и должны быть сданы в этом году [14].

Крупнейшие европейские операторы: «Viking River Cruises» (22,6% всего европейского рынка круизных перевозок), «CroisiEurope» (10,0%), «A-ROSA» (7,0%), «Phoenix Reisen» (6,7%), «AmaWaterways» (6,5%), «Nicko Cruises» (5,1%) [7].

До 90-х гг. прошлого столетия флот европейских РКПС пополнялся медленно и составлял всего 13,6% от нынешнего количества. Пик строительства новых судов пришелся на 2011–2015 гг. В этот период было построено более 30% работающего сейчас флота. Более 60% РКПС построено уже в XXI в. [5].

В 2017 г. РКПС строились для разных европейских рек (47% не для системы Рейн – Майн – Дунай), в 2018 г. только одно судно было построено для реки Дору, остальные – для центральной европейской артерии Рейн – Майн – Дунай. В 2019 и 2020 гг. строительство РКПС для системы Рейн – Майн – Дунай также превалирует над строительством для других рек. Например, с 2012 по 2020 г. было построено 58 РКПС типа «Viking Long Ship» длиной 135 м на 190 пассажиров/95 кают. Активно строился флот люксового и ультралюксового сегмента (компании Scenic luxury cruises & tours и Crystal cruises и др.).

Для ВВП Европы из-за ограничений ширины и высоты судна (габариты шлюзов и мостов) характерны двухпалубные РКПС относительно малой ширины. Длина судов, работающих в системе Рейн – Майн – Дунай, не превышает 135,0 м, ширина – 11,4 м, ширина судов, работающих только на Рейне или только на Дунае, может быть увеличена вплоть до 22 м, а также увеличен надводный габарит в зависимости от района эксплуатации на реке [15].

Как пример, впервые реализованный в 2019 г. проект трехпалубного РКПС на 196 человек «AmaMagna» (круизная компания «AmaWaterways») габаритной длиной 135,0 м, шириной 22 м работает на Дунае на линиях Фильсхофен – Будапешт, Фильсхофен – Джурджу (рис. 4) [16].



Рис. 4. Вид современного европейского РКПС «AmaMagna» компании AmaWaterways для Дуная. Автор фото Peter Kosztolicz. Источник: [17]

В 2021 г. будет сдано первое европейское четырехпалубное РКПС «A-ROSA E-motion» на электродвижении для круизной компании A-ROSA, рассчитанное на 280 пассажиров (рис. 5 и рис. 6) [18]. Судно в первую навигацию будет работать на линиях Кельн – Амстердам, Кельн – Роттердам.



Рис. 5. Вид современного европейского РКПС компании A-ROSA для Рейна. Источник: [18]



Рис. 6. Вид современного европейского РКПС компании A-ROSA для Рейна. Источник: [19]

Длина судна – 135,0 м, ширина – 17,7 м, осадка – 1,7 м. Максимальная расчетная скорость – до 24 км/ч (13 уз), эксплуатационная – 12 уз. Экипаж состоит из 70 человек [19]. Главная энергетическая установка суммарной мощностью около 2370 кВт [18]. Обводы создавались исследовательским

центром группы компаний «DAMEN», для уменьшения сопротивления воды движению судна была применена система воздушных каверн [20].

При заходе в порт и швартовных операциях предполагается работа от аккумуляторных батарей, что позволит сократить выбросы в атмосферу в городах до нуля. Предусматривается также зарядка батарей от береговых источников электропитания во время стоянок (электрические колонки установлены в большинстве европейских портов, в России, к примеру, первую такую колонку планируется установить на Северном речном вокзале в Москве). Интересно отметить, что, по данным [21] за 2014–2016 гг., на европейских ВВП появилось 106 новых грузовых и пассажирских судов, на которых были приняты меры по повышению экологичности. Электродвижение было установлено на 5% таких судов (в основном прогулочных судах для однодневных круизов и местных паромов в Амстердаме). Среди принятых мер выделим следующие: гибридная дизель-электрическая установка (59%), оптимизация обводов, пропульсивного комплекса и металлоемкости с помощью современных компьютерных методов (21%), нейтрализация отработанных газов (16%), энергетическая установка, работающая на СПГ (4%), применение двигателей разной мощности, работающих через один редуктор (1%).

На судне предусмотрены 140 кают: 119 стандартных, 7 класса «люкс», 2 для маломобильных людей, 12 семейных (до 5 мест). Все каюты, кроме семейных, с балконами. Проголочная палуба – солнечная. Площадь кают – от 20 до 28 м², включая балкон. Интерес представляют семейные каюты (рис. 7), которые были специально спроектированы для возможного размещения всей семьи вместе: большая площадь, возможность установки двух дополнительных кроватей в каюте, отсутствие балконов для безопасности детей, увеличенная ванная комната и размещение на отдельной палубе, чтобы не мешать другим пассажирам. Графические изображения кают приведены на рис. 8–10.

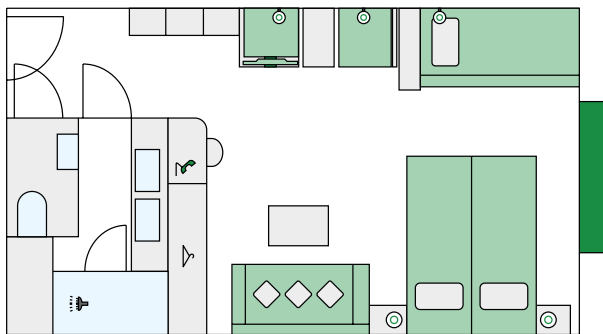


Рис. 7. Вид семейной каюты. Источник: [18]

Схема палуб судна показана на рис. 11. Семейные каюты располагаются на нижней палубе, каюты для маломобильных людей – возле лифта. Каюты класса «люкс», за исключением одной каюты, находятся на одной палубе с ресторанами. Следует также отметить, что для пассажиров, путешествующих в таких каютах, будет организован специальный сервис: отдельная регистрация, личная встреча с директором круиза, бесплатные коктейли, мини-бар, фрукты в номер, консьерж-сервис и т.п.

Каюты экипажа и обслуживающего персонала предусматриваются на нижней палубе, все одно- или двухместные. Четырехместных кают, как обычно, не бывает на РКПС с целью экономии и так ограниченной площади [22]. Отдельно для экипажа и обслуживающего персонала на нижней палубе будет работать бар и лаунж-зона.

Интересно подчеркнуть, что если ранее классическими считались тематические круизы для определенной категории людей [23], то теперь наблюдается тенденция предложения



Рис. 8. Графическое изображение стандартной каюты. Источник: [18]

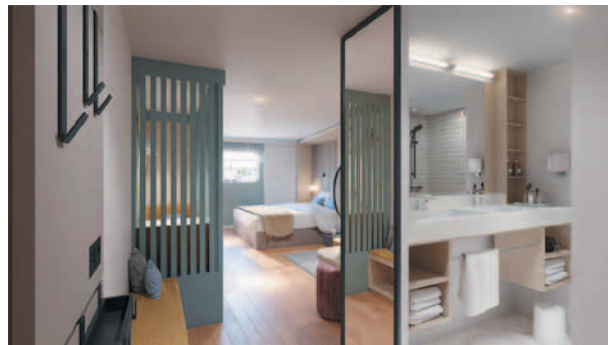


Рис. 9. Графическое изображение семейной каюты. Источник: [18]



Рис. 10. Графическое изображение каюты класса «люкс». Источник: [18]

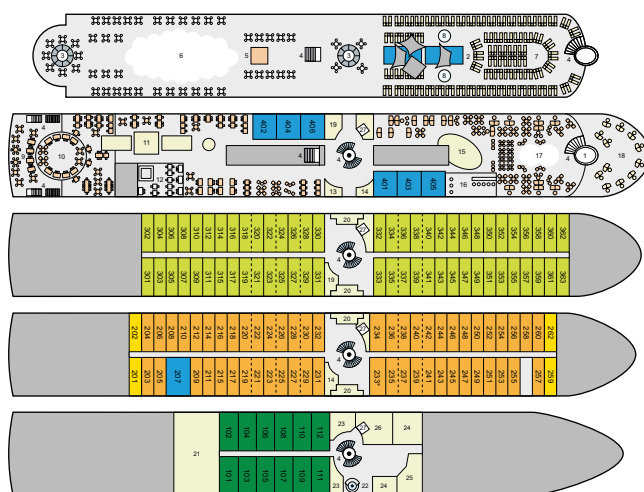


Рис. 11. Схема палуб судна. Источник: [18]

круиза, который был бы интересен абсолютно разным категориям. Для пассажиров, путешествующих с детьми, организован детский клуб с аниматором, выделено место в ресторанной зоне, чтобы дети могли, при желании, отдельно от взрослых питаться и общаться между собой, установлен детский бас-

сейн с небольшой глубиной. Для пассажиров, любящих расслабленный отдых, предусмотрены 10 разноплановых баров, ресторанов и лаунж-зон, сауна, тренажерный зал, джакузи, бассейн, ледяной грот и зона медитации. Для пассажиров, ценящих особый подход, ко всему прочему предлагается еще и вип-сервис с индивидуальным обслуживанием.

Продолжает развиваться направление диверсификации европейских речных круизов. В 2018 г. значительно выросло количество круизов на реках Мозель (на 25%) и Саар (в два раза) [5]. С 2019 г. круизная компания Croisi Europe продлила французские речные круизы с краткосрочными выходами на морские участки [24, 25]. Если раньше до города Мартиг (озеро Бер) ходили небольшие круизные суда по искусственному каналу, которые сильно ограничивал размеры таких судов, то теперь, благодаря принятому в 2018 г. французским правительством постановлению [26], разрешающему краткосрочный выход речному круизному судну на морской французский участок при благоприятной погоде и должном техническом состоянии судна (требования указаны в том же постановлении [26], базируются на отчете Всемирной ассоциации водной транспортной инфраструктуры PIANC [27]: основные контролируемые параметры – скорость ветра, значительная высота волны, видимость, минимальный надводный борт, остойчивость – угол затопления, метацентрическая высота, прочность, осадка носом и т.д., конкретные требования могут отличаться в разных европейских странах), стало возможным организовывать такие круизы, как Лион–Мартиг (Порт Сен-Луи-дю-Рон как альтернативный порт в случае плохой погоды) по реке Рона, круизы до Сен-Назера по реке Луара и круизы до Руайана по заливу Жиронда [24]. Разрешенные постановлением 2018 г. [26] для эксплуатации речных судов французские морские участки указаны на рис. 12–14.

Такие же круизы немного ранее были организованы по реке Сена до порта Гавр [28], до Мидделбурга в Нидерландах, по реке По до Венеции в Италии, по рекам Гвадалквивир и Гвадиана до города Кадис в Испании.

Для грузовых речных судов, к примеру, «открыли» также порты Зебрюгге и Остенде в Бельгии [29] (речные круизные суда туда не заходят).

С 2021 г. компания Avalon Waterways расширяет круизный сегмент на Дунае и Балканском полуострове, впервые круизные суда компании будут заходить в порты Илок (Хорватия), Голубац (Сербия), Ибс-на-Дунае (Австрия), Хайнбург (Австрия) [30].

Отдельно следует отметить предложение круизной компании Viking River Cruises на 2021 г.: совмещение речного и морского круиза на своих судах. Компания предлагает такие круизы на 22 дня из Будапешта в Берген и на 15 дней из Бергена в Базель. Пересадка туристов осуществляется в Амстердаме [31].

Сводные данные 2019 г. по флоту речных круизных судов в Европе и других регионах мира представлены в таблице. Европейский речной круизный рынок является самым большим (41% всех РКПС приходится на Европу). С 2005 г. 27 европейских РКПС было списано с пиком списания в 2017 г., 4 из этих РКПС были переоборудованы в стоечные отели. Флот на реке Нил также достаточно большой, но из-за политического кризиса в стране развивается не так динамично, как европейский [5]. Флот РКПС в России продолжает сокращаться и стареть [6]. В Америке и Азии (в основном Китай) количество речных судов растет, но незначительно [5].

Вообще же условия эксплуатации европейских и нильских РКПС более благоприятны по сравнению с отечественными и китайскими. Ходовое время составляет 8–14 часов, российских РКПС – 18–20 часов; средняя эксплуатационная скорость также меньше; европейские РКПС изначально проектируются и строятся на меньшей речной класс, соответствующий российскому «О» и «Р» (высота волны $h_{1\%}$ обес-

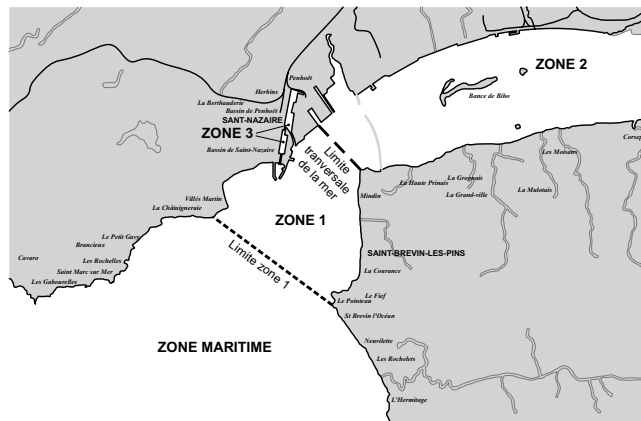


Рис. 12. Разрешенные французские морские участки (Зоны 1-3). Устье реки Луара. Источник: [26]

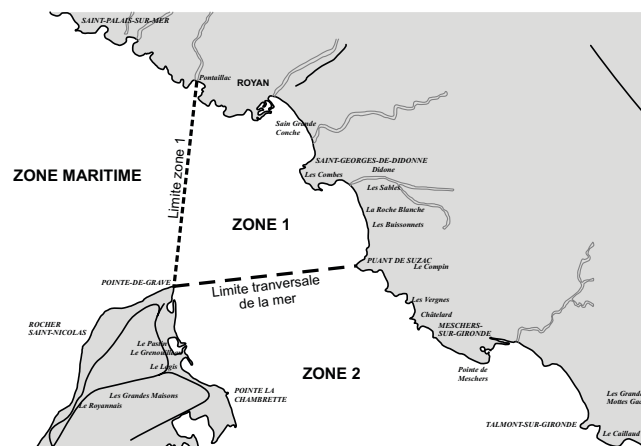


Рис. 13. Разрешенные французские морские участки (Зоны 1-3). Залив Жиронда. Источник: [26]

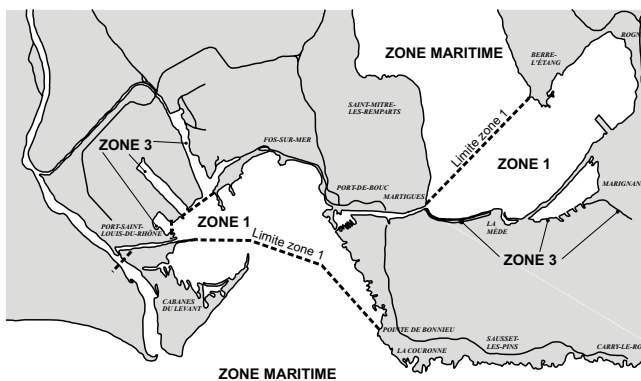


Рис. 14. Разрешенные французские морские участки (Зоны 1-3). Устье реки Рона. Источник: [26]

Таблица
Распределение речных круизных судов по регионам мира

Год	Европа	Россия	Африка	Другие регионы	Всего
2005	177	166	282	100	725
2010	216	150	286	95	747
2015	318	130	275	114	837
2019	359	113	280	114	866
Общий прогноз	Рост	Снижение	Нейтральный	Нейтральный	Рост

Источник: [5, 6]

печенности – 2 м и 1,2 м) и даже «Л» (0,6 м), в то время как построенные российские РКПС эксплуатируются в классе «М» (высота волны $h_{3\%}$ обеспеченности 3,0 м) и выше. Соответственно, существенно различаются расходы на топливо и поддержание технического состояния судна в рейсе, отсюда и большее количество обслуживающего технического персонала на российских РКПС.

Интересно выделить также группу небольших европейских РКПС пассажироместимостью 10–40 человек (европейские операторы называют их «баржами-отелями»). Значительная часть таких судов в свое время была переоборудована из грузовых судов. Как показал анализ, выполненный Центральной комиссией судоходства по Рейну [5], таких судов сейчас в Европе 69 ед., построенных в 40-х гг., 3 самых старых судна были построены в 1897 г. Всего 9 судов было построено в XXI в., 5 заказаны компанией CroisiEurope в 2014–2016 гг. (рис. 15–17). Пассажироместимость – 22 человека, экипаж – 5 человек, длина судна – 38,5 м, ширина – 5,07 м, площадь каюты – от 8 м²) [32], 4 судна типа «Magnifique» построены в 2016–2020 гг. для круизов по Нидерландам (рис. 18). Пассажироместимость – 36 человек, экипаж – 5 человек, длина судна – 67,0 м, ширина – 7,2 м, высота борта – 5,9 м, осадка – 1,5 м, площадь кают – 12–16 м² [33]. На РКПС компании CroisiEurope на верхней палубе расположен ресторан, лаунж-бар, джакузи, терраса и кухня, для отдыха также предусмотрена солнечная палуба. В каютах есть ТВ, интернет, телефон, кондиционирование, санузел.



Рис. 15. Небольшое речное круизное пассажирское судно «Jeanine» компании CroisiEurope на 22 пассажира 2014 г. постройки (в 2017 г. модернизировано). Источник: [32]

Несмотря на почтенный возраст, суда постоянно модернизируются, повышается комфортабельность. Практически половина из 69 судов (34 РКПС) пассажироместимостью 20–29 человек, 25 судов рассчитано на 10–19 человек. Всего 10 судов имеет пассажироместимость 30–39 человек [5].

Небольшие РКПС работают в основном в люксовом сегменте, закрывая участки европейских ВВП, на которых не могут работать классические круизные суда: 37 судов работает в Нидерландах, 19 – во Франции, 4 – в Великобритании, 3 – в Германии, 3 – в Италии, по 1 – в Ирландии, Швейцарии и Португалии. На Нидерланды и Францию приходится 80% всех небольших РКПС [5].

В Нидерландах совершаются недельные круизы из Алкмара в Делфт, из Зандама в Харлем через Гауду, с заходом в Бельгию (из Харлема в Брюгге) [34]; часть небольших РКПС используется в качестве «плавающих отелей», распространены велосипедные туры (днем катание на велосипеде, ночью отдых и переход в следующую локацию) [5, 33].

Во Франции, к примеру, такие РКПС компании «CroisiEurope» выполняют недельные круизы по каналу Марна – Рейн (из Страсбурга), по реке Марна (из Эперне и Парижа), по каналу Рейн – Рона (из Страсбурга), по Бургундскому каналу, реке Дуб, реке Сона (Дижон – Безансон, Безансон – Монбельяр, Дижон – Сен-Леже-Сюр-Ден), по верхней Соне (до города Пор-сюр-Сон), по реке Рона (из Авиньона и города Арль до города Сет), по Бриарскому и Луарскому каналам (от Бриара до города Невер) [32].

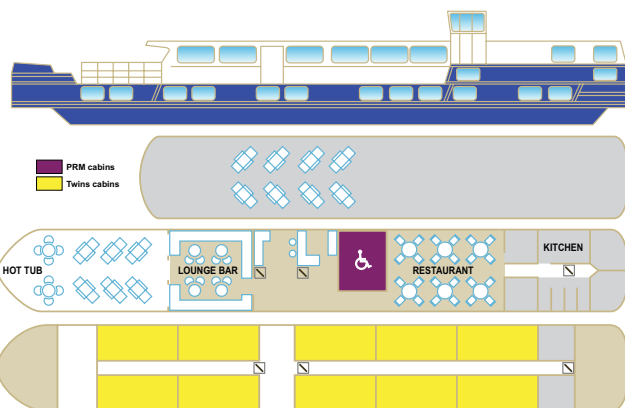


Рис. 16. Небольшое речное круизное пассажирское судно «Jeanine» компании CroisiEurope. Схема палуб и боковой вид. Источник: [32]



Рис. 17. Виды помещений речного круизного пассажирского судна «Jeanine» компании «CroisiEurope». Источник: [32]

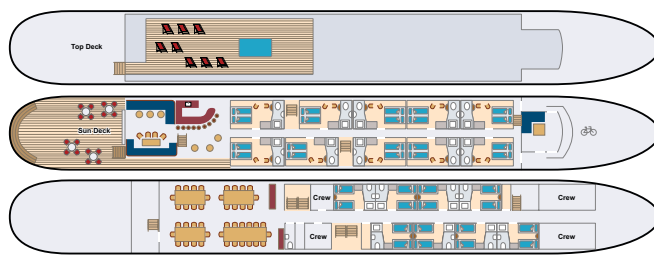


Рис. 18. План палуб небольшого речного круизного пассажирского судна «Magnifique IV» 2020 г. постройки. Источник: [33]

Закключение. Обзор европейского рынка речных круизов показал, что на такие круизы спрос продолжает увеличиваться в первую очередь за счет иностранных туристов. В 2018 г. увеличился спрос на европейские круизы у туристов из Азии, России, Скандинавии и Восточной Европы (суммарно на 41%), Великобритании и Ирландии (на 31%). Количество американских и канадских туристов возросло за год на 14,3%. Пассажиропоток увеличился на 14,6% в 2018 г. по сравнению с 2017 г., с 2012 г. показывает стабильный рост.

Европейский речной круизный рынок является самым большим (41% всех РКПС приходится на Европу). Новые европейские речные круизные пассажирские суда продолжают

активно строиться. В крайние годы новые суда для системы Рейн–Майн–Дунай опять превалируют над судами для Дору, Луары, Эльбы, Соны, Роны, По и т.д. Строятся суда и люксового уровня, и уровнем ниже. Наблюдается тенденция повышения спроса на круизы повышенного уровня комфортабельности. В премиум-сегменте спрос за год вырос на 6%, в сегменте люкс и ультра-люкс – на 8%.

Пассажиروместимость РКПС люксового и ультра-люксового сегментов, как правило, составляет в среднем 150 человек, площадь кают – 20–25 м² с балконом, с полностью включенными всеми услугами на борту и берегу, РКПС премиум сегмента рассчитаны на 170–190 пассажиров.

За 2014–2016 гг. на европейских ВВП появилось 106 новых грузовых и пассажирских судов, на которых можно отметить принятые меры по повышению экологичности.

Продолжает развиваться направление диверсификации европейских речных круизов. В 2018 г. значительно выросло количество круизов на реках Мозель (на 25%) и Саар (в два раза). С 2019 г. круизная компания «CroisiEurope» продлила французские речные круизы с краткосрочными выходами на морские участки. Такие же круизы немного ранее были организованы по реке Сена до порта Гавр, до Мидделбурга в Нидерландах, по реке По до Венеции в Италии, по рекам Гвадалквивир и Гвадиана до города Кадис в Испании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт «CruiseMapper». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cruisemapper.com/news/7612-us-river-lines-push-back-plans-resume-cruises> (дата обращения 14.07.2020).
2. *Егоров Г.В.* Анализ опыта европейских речных круизов и его влияние на новое поколение отечественных пассажирских судов // *Морской вестник*. – 2012. – № 3 (43). – С. 23–28.
3. Сайт круизного информационного агентства «CruiseInform». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cruiseinform.ru/news/places/180620201/> (дата обращения 14.07.2020).
4. Market Observation for inland navigation in Europe. Market Insight 2020. – Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine. – Strasbourg, 2020, April. – 53 p.
5. Market Observation for inland navigation in Europe. Annual report 2019. – Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine. – Strasbourg, 2019, September. – 176 p.
6. *Егоров А.Г.* Определение фактической пассажироёмкости отечественных речных круизных пассажирских судов с прогнозом до 2030 года // *Морской вестник*. – 2019. – № 4 (72) – С. 7–11.
7. Cruise Industry News: 2020 European River Cruise Market. Special report. – Edited by Oivind Mathisen. – New York, 2019, September, 114 p.
8. Сайт «VikingRiverCruises». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.vikingrivercruises.com/ships/longships/index.html> (дата обращения 14.07.2020).
9. Сайт «CruiseMapper». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cruisemapper.com/news/5953-viking-launch-4-new-seine-ships> (дата обращения 14.07.2020).
10. Сайт «Scylla». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://scylla.ch/en/ships> (дата обращения 14.07.2020).
11. Сайт «AvalonWaterways». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.avalonwaterways.com/river-cruise-ships/avalon-view/> (дата обращения 14.07.2020).
12. Сайт «AmaWaterways». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.amawaterways.com/ships/amasienna-river-cruise-ship/itineraries/2020> (дата обращения 14.07.2020).
13. Сайт «NickoCruises». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.nicko-cruises.de/en/fleet/ship/nickospirit/> (дата обращения 14.07.2020).
14. Сайт «LueftnerCruises». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.lueftner-cruises.com/en/our-amadeus-fleet/ms-amadeus-imperial.html> (дата обращения 14.07.2020).

15. ECE/TRANS/SC.3/144/Rev.3. Перечень основных характеристик и параметров сети водных путей категории Е («Синяя книга»). - ЕЭК ООН. Комитет по внутреннему транспорту. – ООН, Нью-Йорк и Женева, 2017, 110 с.
16. Сайт «AmaWaterways». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.amawaterways.com/ships/amamagna-river-cruise-ship> (дата обращения 14.07.2020).
17. Сайт «MarineTraffic». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.marinetraffic.com/en/photos/of/ships/shipid:5780707/#forward> (дата обращения 14.07.2020).
18. Сайт «ArosaCruises». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.arosa-cruises.com/river-cruises/a-rosa-fleet/a-rosa-emotion-ship.html> (дата обращения 14.07.2020).
19. Сайт «CruiseMapper». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cruisemapper.com/ships/Arosa-Emotion-1613> (дата обращения 14.07.2020).
20. *Zverkhovskiy O., De Jong J.S.* DAMEN air cavity system of sustainable passenger ships. – Proceedings of the Intern. Conf. «Sustainable and Safe Passenger Ships». – Athens (Greece): Royal Institution of Naval Architects & Hellenic Institute of Marine Technology, 2020. – P. 65–70.
21. Market Observation for inland navigation in Europe. Market Report 2014-2017: Main features and trends of the European Inland Waterway Transport sector. – Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine. – Strasbourg, 2018, September, 75 p.
22. *Егоров А.Г.* Особенности компоновки пассажирского и служебного блоков на речных круизных пассажирских судах с учетом модернизаций и конверсий // *Тр. Крыловского государственного научного центра*. – 2020. – Спецвыпуск № 1. – С. 154–163.
23. *Егоров А.Г.* Речные круизные пассажирские суда: инновационные решения и их применимость при конверсии // *Вестник ОНМУ*. – Одесса: ОНМУ, 2018. – Вып. 4 (57). – С. 23–52.
24. Сайт «CroisiEurope». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.croisieurope.com/destination/france-cruises> (дата обращения 14.07.2020).
25. Market Observation for inland navigation in Europe. Thematic report: river-sea transport in Europe. – Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine. – Strasbourg, January, 2020, 109 p.
26. Arrêté du 2 octobre 2018 relatif au classement des zones de navigation des bateaux de commerce, des bateaux de plaisance et engins flottants et aux compléments ou allègements des prescriptions techniques applicables sur certaines de ces zones de navigation. NOR: TRAT1811009A, Version consolidée au 07 octobre 2018, 71 p. – Режим доступа: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2018/10/2/TRAT1811009A/jo/texte> (дата обращения 14.07.2020).
27. Direct Access to Maritime Ports by Adapted Inland Waterway Vessels. Maritime Navigation Commission & Inland Navigation Commission Expert Group. – PIANC Report 2013, No. 118.
28. Сайт «AmaWaterways». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.amawaterways.com/destination/europe-river-cruises/2021/paris-normandy> (дата обращения 14.07.2020).
29. *Vantorre M., Eloit K., Geerts S.* Inland vessels at sea: a useful contradiction to solve missing links in waterway systems. – Smart rivers 2013. Paper 25. Liege & Maastricht, 2013. – 9 p.
30. Сайт «CruiseTradeNews». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cruisetradenews.com/avalon-waterways-expands-2021-europe-river-cruise-collection/> (дата обращения 14.07.2020).
31. Сайт «VikingRiverCruises». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.vikingrivercruises.com/cruise-destinations/ocean-river-voyages/index.html> (дата обращения 14.07.2020).
32. Сайт «CroisiEurope». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.croisieurope.com/destination/barges-canal-france> (дата обращения 14.07.2020).
33. Сайт «BoatBikeTours». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://boatbiketours.com/tours/country/netherlands/> (дата обращения 14.07.2020).
34. Сайт «EuropeanWaterways». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.europeanwaterways.com/> (дата обращения 14.07.2020). ■

Одна из сложных проблем динамики судна на волнении связана с исследованием взаимодействия судна с внешней средой в штормовых условиях. Данное взаимодействие в общем случае нелинейное – судно совершает полигармонические колебания под действием нелинейных гидродинамических сил. От корректного решения этой сложной задачи зависит точность расчетов характеристик мореходности и оценка безопасности судна.

Уточнение структуры гидродинамических сил за счет учета нелинейных составляющих второго порядка необходимо для определения кинематических

характеристик качки: амплитуд, скоростей, ускорений. Задача определения нелинейных сил в двумерной постановке как в бесконечно-глубокой жидкости, так и в жидкости конечной глубины была полностью решена в работах [1, 2, 5]. В них показано значительное влияние нелинейных сил на амплитудно-частотные характеристики бортовой, вертикальной, поперечно-горизонтальной качки. Однако один из недостатков двумерной теории – невозможность ее корректного использования в случае качки на косых курсовых углах. Для корректного учета влияния нелинейных факторов на косых курсовых углах необходимо применение трехмерной теории. В работе [4] рассмотрена задача об определении нелинейных вертикальных сил, возникающих при вертикальной качке судна, расположенного лагом, и доказана работоспособность предлагаемого метода. В отечественной практике данная работа является первой, где определялись нелинейные силы в трехмерной постановке.

В настоящей работе рассматривается метод расчета нелинейных гидродинамических сил и моментов второго порядка, возникающих при вертикальной, поперечно-горизонтальной и бортовой качке судна на косых курсовых углах на основании трехмерной потенциальной теории и метода малого параметра.

Для решения задачи введем три малых параметра: $\varepsilon_3 = \frac{\zeta_g}{B/2}$, $\varepsilon_2 = \frac{\eta_g}{B/2}$ и $\varepsilon_4 = \frac{\theta_m}{1rad}$, характеризующих малость вертикальных, поперечно-горизонтальных и бортовых колебаний. Тогда потенциал движения жидкости при соответствующих видах качки с точностью до второго порядка малости будет иметь вид

$$\Phi_j = \varepsilon_j \Phi_j^{(1)} + \varepsilon_j^2 \Phi_{j1}^{(2)} + \varepsilon_j^2 \Phi_{j2}^{(2)}, \quad (1)$$

где $j = 2, 3, 4$.

Каждый потенциал второго порядка должен удовлетворять уравнению Лапласа, граничным условиям непротекания и на свободной поверхности жидкости, принципу излучения и граничным условиям на бесконечностях. Получим граничные условия на смоченной и свободной поверхности для каждого потенциала путем подстановки выражений (1) в общие граничные условия [8].

На смоченной поверхности

$$\frac{\partial \Phi^{(2)}}{\partial n} = Q_B = -n(\bar{X}^{(1)} \cdot \nabla) \nabla \Phi^{(1)} + (V^{(1)} - \nabla \Phi^{(1)}) N^{(1)} + V^{(2)} n + \frac{\partial H}{\partial t} r, \quad (2)$$

где

$$\bar{X}^{(1)} = \begin{Bmatrix} \xi_g^{(1)} + (\psi^{(1)} z - \chi^{(1)} y) \\ \eta_g^{(1)} - (\theta^{(1)} z - \chi^{(1)} x) \\ \zeta_g^{(1)} + (\theta^{(1)} y - \psi^{(1)} x) \end{Bmatrix}; \quad V^{(1)} = \begin{Bmatrix} \dot{\xi}_g^{(1)} + (\dot{\psi}^{(1)} z - \dot{\chi}^{(1)} y) \\ \dot{\eta}_g^{(1)} - (\dot{\theta}^{(1)} z - \dot{\chi}^{(1)} x) \\ \dot{\zeta}_g^{(1)} + (\dot{\theta}^{(1)} y - \dot{\psi}^{(1)} x) \end{Bmatrix}; \quad (3)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СИЛ ВТОРОГО ПОРЯДКА, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПОПЕРЕЧНОЙ КАЧКЕ СУДОВ НА КОСЫХ КУРСОВЫХ УГЛАХ, НА ОСНОВАНИИ ТРЕХМЕРНОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ

В.Ю. Семёнова, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,

Д.А. Альбаев, магистрант, ассистент кафедры,

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, контакт. тел. +7(905) 229 7198

$$N^{(1)} = \begin{Bmatrix} \psi^{(1)} \cos(n, z) - \chi^{(1)} \cos(n, y) \\ -\theta^{(1)} z + \chi^{(1)} (n, x) \\ \theta^{(1)} \cos(n, y) - \psi^{(1)} \cos(n, x) \end{Bmatrix}; \quad V^{(2)} = \begin{Bmatrix} \dot{\xi}_g^{(2)} + (\dot{\psi}^{(2)} z - \dot{\chi}^{(2)} y) \\ \dot{\eta}_g^{(2)} - (\dot{\theta}^{(2)} z - \dot{\chi}^{(2)} x) \\ \dot{\zeta}_g^{(2)} + (\dot{\theta}^{(2)} y - \dot{\psi}^{(2)} x) \end{Bmatrix}; \quad (3)$$

$$H = -\frac{1}{2} \begin{pmatrix} \psi^2 + \chi^2 & 0 & 0 \\ -2\theta\psi & \theta^2 + \chi^2 & 0 \\ -2\theta\chi & -2\psi\chi & \theta^2 + \psi^2 \end{pmatrix}.$$

Здесь $r = r(x, y, z)$ – это радиус-вектор.

И на свободной поверхности

$$\frac{\partial \Phi^{(2)}}{\partial z} - \frac{4\omega^2}{g} \Phi^{(2)} = Q_F = -\frac{i\omega}{g} (\nabla \Phi^{(1)})^2 + \frac{i\omega}{2g} \Phi^{(1)} \left(\frac{\partial^2 \Phi^{(1)}}{\partial z^2} - \frac{\omega^2}{g} \frac{\partial \Phi^{(1)}}{\partial z} \right). \quad (4)$$

Группируя составляющие, пропорциональные квадратам малых параметров, получим граничные условия для потенциалов $\Phi_{j1}^{(2)}$ и $\Phi_{j2}^{(2)}$.

Тогда для вертикальной качки имеем:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{33_1}^{(2)}}{\partial n} = Q_{B33} = -n(\zeta_g^{(1)} \cdot \nabla) \nabla \Phi_3^{(1)} = \\ = -\frac{i}{2} \zeta_g^{(1)} \left[\frac{\partial^2 \Phi_3^{(1)}}{\partial z \partial x} \cos(n, x) + \frac{\partial^2 \Phi_3^{(1)}}{\partial z \partial y} \cos(n, y) + \frac{\partial^2 \Phi_3^{(1)}}{\partial z^2} \cos(n, z) \right]; \\ \frac{\partial \Phi_{33_2}^{(2)}}{\partial z} - \frac{4\omega^2}{g} \Phi_{33_2}^{(2)} = Q_{F33} = -\frac{i\omega}{g} \times \\ \times \left[\left(\frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{i\omega}{2g} \Phi_3^{(1)} \left(\frac{\partial^2 \Phi_3^{(1)}}{\partial z^2} - \frac{\omega^2}{g} \frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial z} \right); \\ \frac{\partial \Phi_{33_2}^{(2)}}{\partial n} = \dot{\zeta}_g^{(2)} \cos(n, z); \quad \frac{\partial \Phi_{33_2}^{(2)}}{\partial z} - \frac{4\omega^2}{g} \Phi_{33_2}^{(2)} = 0. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Аналогично для поперечно-горизонтальной качки:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{22_1}^{(2)}}{\partial n} = Q_{B22} = -n(\eta_g^{(1)} \cdot \nabla) \nabla \Phi_2^{(1)} = \\ = -\frac{i}{2} \eta_g^{(1)} \left[\frac{\partial^2 \Phi_2^{(1)}}{\partial x \partial y} \cos(n, x) + \frac{\partial^2 \Phi_2^{(1)}}{\partial y^2} \cos(n, y) + \frac{\partial^2 \Phi_2^{(1)}}{\partial z \partial y} \cos(n, z) \right]; \\ \frac{\partial \Phi_{22_2}^{(2)}}{\partial z} - \frac{4\omega^2}{g} \Phi_{22_2}^{(2)} = Q_{F22} = -\frac{i\omega}{g} \times \\ \times \left[\left(\frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{i\omega}{2g} \Phi_2^{(1)} \left(\frac{\partial^2 \Phi_2^{(1)}}{\partial z^2} - \frac{\omega^2}{g} \frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial z} \right); \\ \frac{\partial \Phi_{22_2}^{(2)}}{\partial n} = \dot{\eta}_g^{(2)} \cos(n, y); \quad \frac{\partial \Phi_{22_2}^{(2)}}{\partial z} - \frac{4\omega^2}{g} \Phi_{22_2}^{(2)} = 0. \end{aligned} \right. \quad (6)$$

И, наконец, для потенциала второго порядка при бортовой качке:

$$\left\{ \begin{aligned} & \frac{\partial \Phi_{44_1}^{(2)}}{\partial n} = Q_{B44} = \frac{i}{2} \theta_m^{(1)} z \times \\ & \times \left[\frac{\partial^2 \Phi_4^{(1)}}{\partial x \partial y} \cos(n, x) + \frac{\partial^2 \Phi_4^{(1)}}{\partial y^2} \cos(n, y) + \frac{\partial^2 \Phi_4^{(1)}}{\partial z \partial y} \cos(n, z) \right] - \\ & - \frac{i}{2} \theta_m^{(1)} y \left[\frac{\partial^2 \Phi_4^{(1)}}{\partial x \partial z} \cos(n, x) + \frac{\partial^2 \Phi_4^{(1)}}{\partial y \partial z} \cos(n, y) + \frac{\partial^2 \Phi_4^{(1)}}{\partial z^2} \cos(n, z) \right]; \quad (7) \\ & \frac{\partial \Phi_{44_1}^{(2)}}{\partial z} - \frac{4\omega^2}{g} \Phi_{44_1}^{(2)} = Q_{F44} = -\frac{i\omega}{g} \times \\ & \times \left[\left(\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{i\omega}{2g} \Phi_4^{(1)} \left(\frac{\partial^2 \Phi_4^{(1)}}{\partial z^2} - \frac{\omega^2}{g} \frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial z} \right); \\ & \frac{\partial \Phi_{44_2}^{(2)}}{\partial n} = \dot{\theta}_m^{(2)} (y \cos(n, z) - z \cos(n, y)); \\ & \frac{\partial \Phi_{44_2}^{(2)}}{\partial z} - \frac{4\omega^2}{g} \Phi_{44_2}^{(2)} = 0. \end{aligned} \right.$$

Задача определения потенциалов $\Phi_{22}^{(2)}$, $\Phi_{33}^{(2)}$ и $\Phi_{44_2}^{(2)}$ решена в работе авторов [3].

В настоящей работе будет рассмотрено определение потенциалов $\Phi_{22}^{(2)}$, $\Phi_{33}^{(2)}$ и $\Phi_{44_1}^{(2)}$. Для определения данных потенциалов используется метод интегральных уравнений [6], согласно которому

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{2} \Phi_{ji}^{(2)}(x, y, z) + \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega} \Phi_{ji}^{(2)}(\xi, \eta, \zeta) \frac{\partial G^{(2)}}{\partial n} d\Omega = \\ & = \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega} Q_{Bij} G^{(2)} d\Omega + \frac{1}{4\pi} \int_{S_F} Q_{Fij} G^{(2)} dS_F. \end{aligned} \quad (8)$$

Функция Грина $G^{(2)}$ может быть определена по одной из формул для бесконечно-глубокой жидкости:

$$\begin{aligned} & G^{(2)}(x, y, z, \xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} + \\ & + 8v \int_0^{\infty} \frac{e^{-k(z+\zeta)}}{k-4v} J_0(kR) dk + i8\pi v e^{4v(z+\zeta)} J_0(4vR). \end{aligned} \quad (9)$$

Для жидкости ограниченной глубины

$$\begin{aligned} & G^{(2)}(x, y, z, \xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} + \\ & + \int_0^{\infty} \frac{2(k+4v)e^{-kh} \cosh k(z+h)}{k \sinh kh - 4v \cosh kh} \cosh k(\zeta+h) J_0(kR) dk + \\ & + i2\pi \frac{2((4\mu_0)^2 - (4v)^2) \cosh 4\mu_0(z+h)}{((4\mu_0)^2 - (4v)^2)h + 4v} \times \\ & \times \cosh 4\mu_0(\zeta+h) J_0(\mu_0 R). \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь $r = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2}$;
 $r_1 = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z+\zeta)^2}$; $R = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}$;
 $v = \frac{\omega^2}{g}$ – волновое число; μ_0 – положительный корень трансцендентного уравнения, имеющего вид $\mu_0 \tanh(\mu_0 H) = v$;
 J_0 – функция Бесселя.

Основные трудности решения системы уравнений (8) заключаются в корректном определении граничных условий. Из выражений (5) – (7) видно, что определение граничных условий связано с вычислением вторых производных потенциалов первого порядка. Определение данных производных связано с большими вычислительными трудностями и может быть корректно осуществлено только при использовании очень мелкой разбивки судна на панели. Чтобы избежать указанных трудностей, в работах Lee [6, 7] предлагается заменить

вычисление вторых производных следующим выражением, полученным на основании применения некоторых векторных операций и теоремы Стокса.

Для Q_{B33} :

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega} Q_{B33} G^{(2)} d\Omega = \int_{\Omega} n \left[(\zeta_g^{(1)} \cdot \nabla) \nabla \Phi_3^{(1)} \right] G^{(2)} d\Omega = \\ & = \zeta_g^{(1)} \int_{\Omega} \left[\frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial x} \frac{\partial G^{(2)}}{\partial x} + \frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial y} \frac{\partial G^{(2)}}{\partial y} + \frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial z} \frac{\partial G^{(2)}}{\partial z} \right] \cos(n, z) d\Omega - \end{aligned} \quad (11)$$

$$- \zeta_g^{(1)} \int_{\Omega} \frac{d\Phi_3^{(1)}}{dn} \frac{\partial G^{(2)}}{\partial z} d\Omega + \zeta_g^{(1)} \int_{WL} \left[\frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial y} s_x - \frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial x} s_y \right] G^{(2)} dl.$$

Для Q_{B22} :

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega} Q_{B22} G^{(2)} d\Omega = \int_{\Omega} n \left[(\eta_g^{(1)} \cdot \nabla) \nabla \Phi_2^{(1)} \right] G^{(2)} d\Omega = \\ & = \eta_g^{(1)} \int_{\Omega} \left[\frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial x} \frac{\partial G^{(2)}}{\partial x} + \frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial y} \frac{\partial G^{(2)}}{\partial y} + \frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial z} \frac{\partial G^{(2)}}{\partial z} \right] \times \\ & \times (y \cos(n, z) - z \cos(n, y)) d\Omega - \\ & - \theta_m^{(1)} \int_{\Omega} \frac{d\Phi_4^{(1)}}{dn} \left(\frac{\partial G^{(2)}}{\partial z} y - \frac{\partial G^{(2)}}{\partial y} z \right) d\Omega + \\ & + \theta_m^{(1)} \int_{WL} \left[\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial y} y s_x - \frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial x} y s_y \right] G^{(2)} dl + \\ & + \theta_m^{(1)} \int_{\Omega} \left[\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial z} n_y - \frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial y} n_z \right] G^{(2)} d\Omega. \end{aligned} \quad (12)$$

Для Q_{B44} :

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega} Q_{B44} G^{(2)} d\Omega = \theta_m^{(1)} \int_{\Omega} \left[\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial x} \frac{\partial G^{(2)}}{\partial x} + \frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial y} \frac{\partial G^{(2)}}{\partial y} + \right. \\ & \left. + \frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial z} \frac{\partial G^{(2)}}{\partial z} \right] (y \cos(n, z) - z \cos(n, y)) d\Omega - \\ & - \theta_m^{(1)} \int_{\Omega} \frac{d\Phi_4^{(1)}}{dn} \left(\frac{\partial G^{(2)}}{\partial z} y - \frac{\partial G^{(2)}}{\partial y} z \right) d\Omega + \\ & + \theta_m^{(1)} \int_{WL} \left[\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial y} y s_x - \frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial x} y s_y \right] G^{(2)} dl + \\ & + \theta_m^{(1)} \int_{\Omega} \left[\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial z} n_y - \frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial y} n_z \right] G^{(2)} d\Omega. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь $s_x = n_y / \sqrt{1-n_z^2}$, $s_y = -n_x / \sqrt{1-n_z^2}$, $s_z = 0$.

Граничные условия на свободной поверхности для всех трех видов колебаний, содержащие вторую производную, можно представить в соответствии с теоремой Гаусса [6] следующим образом:

$$\begin{aligned} & \int_{S_F} Q_{Fij} G^{(2)} dS_F = \int_{S_F} Q_{Fj1} G^{(2)} dS_F + \int_{S_F} Q_{Fj2} G^{(2)} dS_F; \\ & Q_{Fj1} = -\frac{i\omega}{g} \left[\left(\frac{\partial \Phi_j^{(1)}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_j^{(1)}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_j^{(1)}}{\partial z} \right)^2 \right] + \\ & + \frac{i\omega}{2g} \Phi_j^{(1)} \left(-\frac{\omega^2}{g} \frac{\partial \Phi_j^{(1)}}{\partial z} \right); \end{aligned} \quad (14)$$

$$Q_{Fj2} = \frac{i\omega}{2g} \Phi_j^{(1)} \frac{\partial^2 \Phi_j^{(1)}}{\partial z^2}.$$

Согласно [6] и [7], можно получить:

$$\begin{aligned} & \int_{S_F} \Phi_n^{(1)} \frac{\partial^2 \Phi_n^{(1)}}{\partial z^2} G^{(2)} dS_F = - \\ & - \int_{WL+PC} \Phi_n^{(1)} (\nabla \Phi_n^{(1)} \cdot \mathbf{n}) G^{(2)} dl + \int_{S_F} \Phi_n^{(1)} (\nabla \Phi_n^{(1)} \nabla G^{(2)}) dS_F. \end{aligned} \quad (15)$$

Здесь интеграл \int_{WL+PC} берется по контуру ватерлинии судна

на и по контуру, ограничивающему свободную поверхность жидкости на достаточно большом удалении от судна (рис. 1).

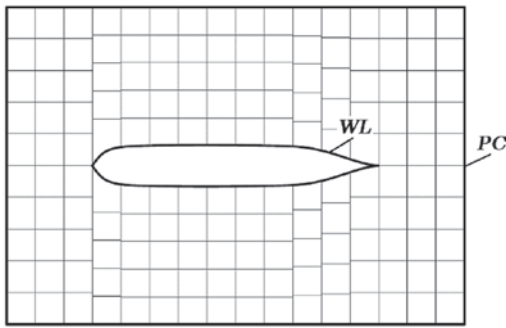


Рис. 1. Разбиение свободной поверхности на панели

Давления второго порядка, возникающие при качке, имеют вид

$$p_{33}^{(2)} = -\rho \frac{\partial \Phi_{33}^{(2)}}{\partial t} - \rho \zeta_g^{(1)} \frac{\partial^2 \Phi_3^{(1)}}{\partial z \partial t} - \frac{1}{2} \rho \left[\left(\frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial z} \right)^2 \right];$$

$$p_{22}^{(2)} = -\rho \frac{\partial \Phi_{22}^{(2)}}{\partial t} - \rho_g^{(1)} \frac{\partial^2 \Phi_2^{(1)}}{\partial y \partial t} - \frac{1}{2} \rho \left[\left(\frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial z} \right)^2 \right];$$

$$p_{44}^{(2)} = -\rho \frac{\partial \Phi_{44}^{(2)}}{\partial t} + \rho \theta_m^{(1)} z \frac{\partial^2 \Phi_4^{(1)}}{\partial y \partial t} - \rho \theta_m^{(1)} y \frac{\partial^2 \Phi_4^{(1)}}{\partial z \partial t} - \frac{1}{2} \rho \left[\left(\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial z} \right)^2 \right].$$

$$F_{V_{33}}^{(2)} = -\int_{\Omega} p^{(2)} \bar{n} d\Omega - \int_{WL} p^{(1)} \bar{n}_{WL} dl, \quad (17)$$

и может быть представлена в виде двух частей, где

$$F_{33}^{(2)} = \rho \int_{\Omega} \frac{\partial \Phi_{33}^{(2)}}{\partial t} \cos(n, z) d\Omega; \\ F_{33n}^{(2)} = \rho \int_{\Omega} \left[\zeta_g^{(1)} \frac{\partial^2 \Phi_3^{(1)}}{\partial z \partial t} \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial z} \right)^2 \right] \times \right. \\ \left. \times \cos(n, z) d\Omega - \frac{1}{2} \rho g \int_{WL} z_w^2 n_{z_{WL}} dl; z_w = \frac{1}{g} \frac{\partial \Phi_3^{(1)}}{\partial t} \zeta_g^{(1)}. \right. \quad (18)$$

Таким образом, вторая часть нелинейной вертикальной силы полностью определяется уже на основании решения задачи первого порядка.

В силу асимметрии потенциалов $\Phi_2^{(1)}, \Phi_4^{(1)}, \Phi_{22}^{(1)}, \Phi_{44}^{(1)}$ относительно ДП судна будут возникать следующие нелинейные силы и моменты:

при поперечно-горизонтальной качке:

$$F_{H_{22}}^{(2)} = \rho \int_{\Omega} \frac{\partial \Phi_{22}^{(2)}}{\partial t} \cos(n, y) d\Omega; \\ M_{X_{22}}^{(2)} = \rho \int_{\Omega} \frac{\partial \Phi_{22}^{(2)}}{\partial t} (y \cos(n, z) - z \cos(n, y)) d\Omega; \\ M_{Z_{22}}^{(2)} = \rho \int_{\Omega} \frac{\partial \Phi_{22}^{(2)}}{\partial t} (x \cos(n, y) - y \cos(n, x)) d\Omega; \quad (19) \\ F_{V_{22}}^{(2)} = \int_{\Omega} \bar{n}_g^{(1)} \frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial y \partial t} + \frac{1}{2} \rho \left[\left(\frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial z} \right)^2 \right] \times$$

$$\times d\Omega - \frac{1}{2} \rho g \int_{WL} z_w^2 n_{z_{WL}} dl; z_w = -\frac{1}{g} \frac{\partial \Phi_2^{(1)}}{\partial t}.$$

при бортовой качке:

$$F_{H_{44}}^{(2)} = \rho \int_{\Omega} \frac{\partial \Phi_{44}^{(2)}}{\partial t} \cos(n, y) d\Omega; \\ M_{X_{44}}^{(2)} = \rho \int_{\Omega} \frac{\partial \Phi_{44}^{(2)}}{\partial t} (y \cos(n, z) - z \cos(n, y)) d\Omega; \\ M_{Z_{44}}^{(2)} = \rho \int_{\Omega} \frac{\partial \Phi_{44}^{(2)}}{\partial t} (x \cos(n, y) - y \cos(n, x)) d\Omega; \\ F_{V_{44}}^{(2)} = \int_{\Omega} \theta_m^{(1)} y \frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial z \partial t} - \theta_m^{(1)} z \frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial y \partial t} + \\ + \frac{1}{2} \rho \left[\left(\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial z} \right)^2 \right] d\Omega - \frac{1}{2} \rho g \int_{WL} z_w^2 n_{z_{WL}} dl; \\ z_w = -\frac{1}{g} \frac{\partial \Phi_4^{(1)}}{\partial t} - y \theta_m^{(1)}.$$

Непосредственно с вычислением потенциалов второго порядка связано определение нелинейных горизонтальных сил и моментов. Нелинейные вертикальные силы определяются полностью на основании решения задачи первого порядка.

На основании изложенного метода были разработаны две программы расчета нелинейных сил. Первая – с использованием функции Грина для бесконечно-глубокой жидкости, вторая – с использованием функции Грина для жидкости ограниченной глубины (в случае, когда $H \rightarrow \infty$). На основании разработанных программ были проведены расчеты для нескольких судов (см. таблицу ниже).

Таблица

Характеристики судов

Тип и название судна	L	B	T	δ	α
Балкер «Капитан Панфилов»	134	20.6	9.4	0.78	0.88
Лихтеровоз «Алексей Косыгин»	232	32	10.6	0.57	0.82
Сухогруз «Стахановец Котов»	121	20.2	6.2	0.624	0.81

Для численного решения систем интегральных уравнений смоченная поверхность каждого судна разбивается на конечное число плоских элементов – треугольных панелей.

Характерные варианты разбивки представлены на рис. 2–4.

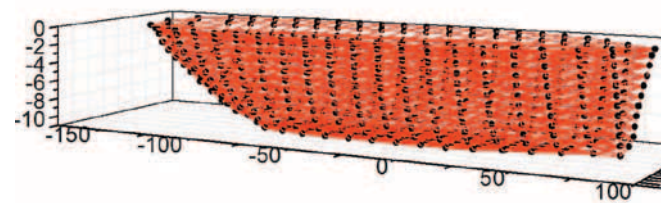


Рис. 2. Разбивка поверхности лихтеровоза «Алексей Косыгин»

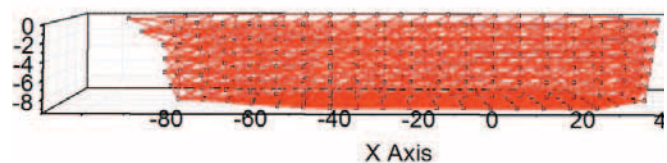


Рис. 3. Разбивка поверхности балкера «Капитан Панфилов»

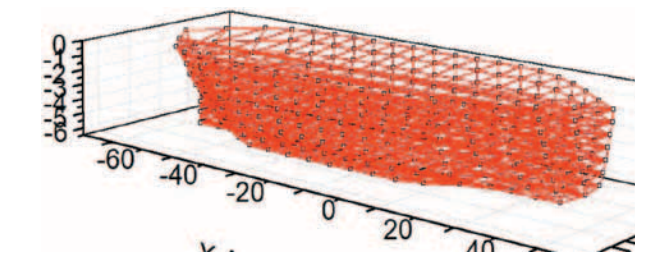


Рис. 4. Разбивка поверхности сухогруза «Стахановец Котов»

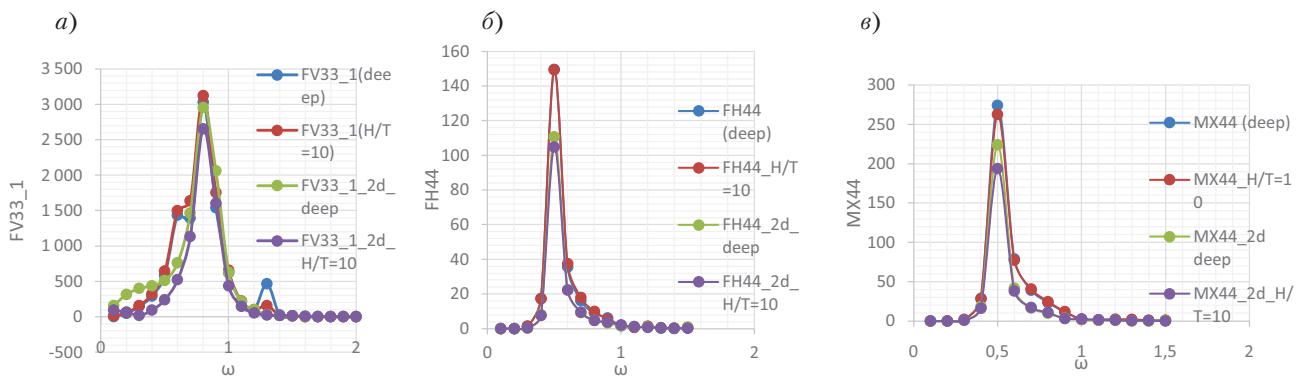


Рис. 5. Нелинейные силы и моменты для балкера «Капитан Панфилов» при курсовом угле 90° : а – $F_{V33}^{(2)}$ и $F_{V33}^{(2)}$; б – $F_{H44}^{(2)}$; в – $M_{X44}^{(2)}$

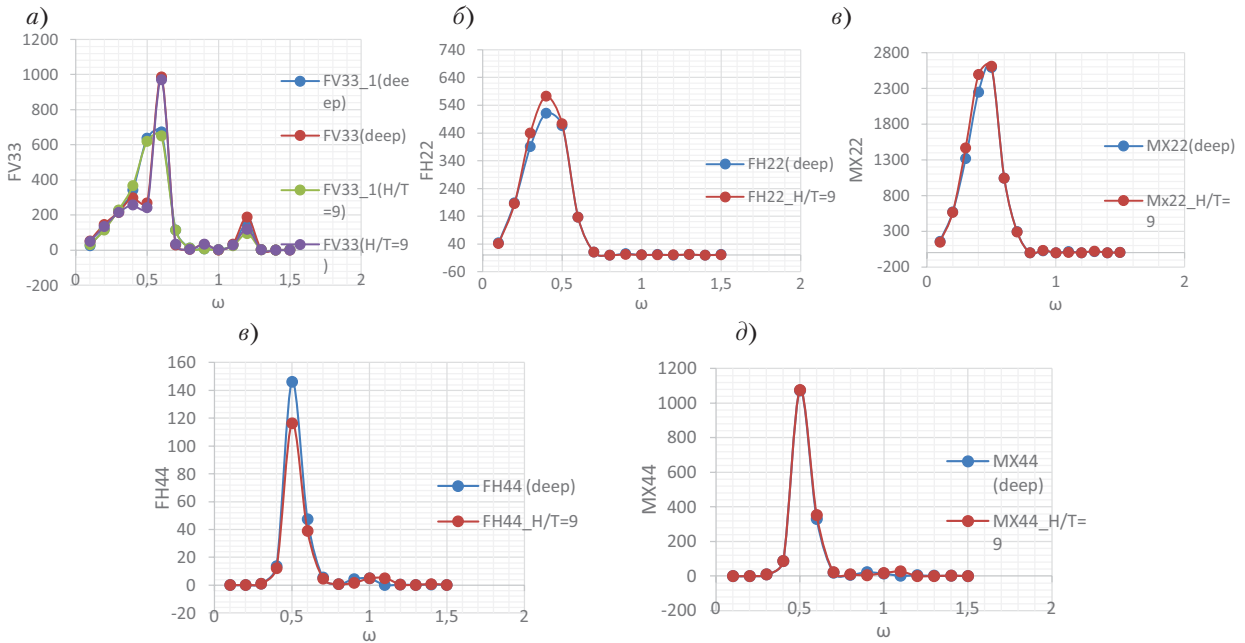


Рис. 6. Нелинейные силы и моменты для лихтеровоза «Алексей Косыгин» при курсовом угле 60° : а – $F_{V33}^{(2)}$ и $F_{V33}^{(2)}$; б – $F_{H22}^{(2)}$; в – $M_{X22}^{(2)}$; г – $F_{H44}^{(2)}$; д – $M_{X44}^{(2)}$

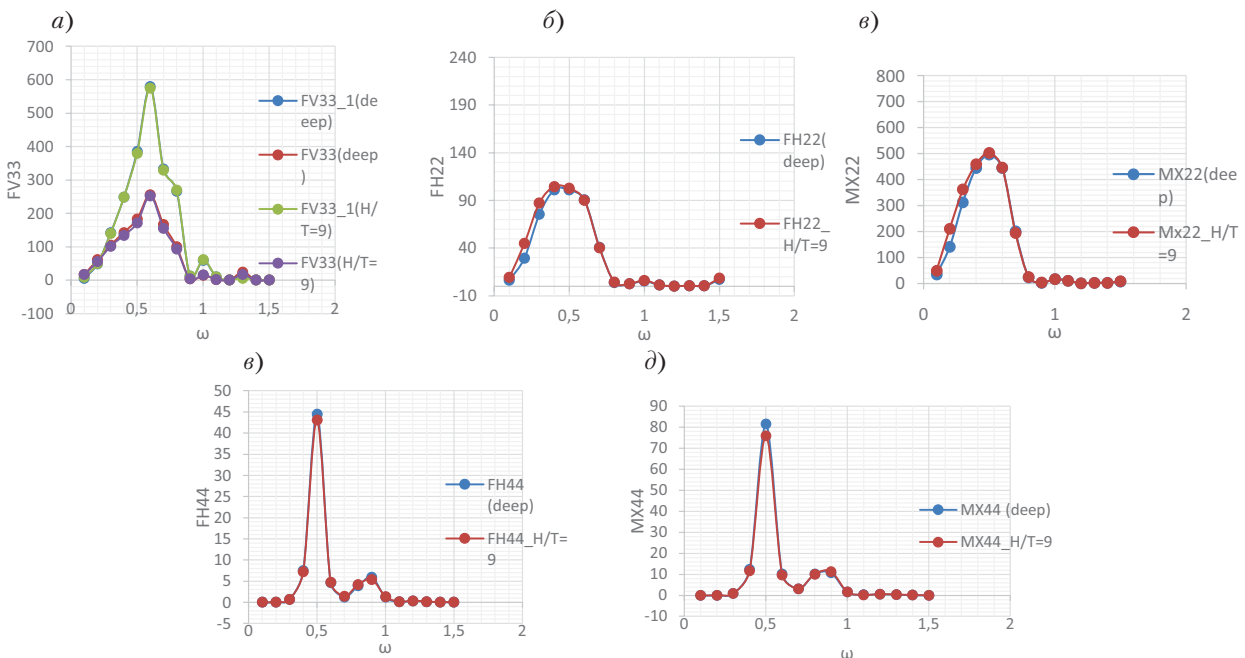


Рис. 7. Нелинейные силы и моменты для балкера «Капитан Панфилов» при курсовом угле 135° : а – $F_{V33}^{(2)}$ и $F_{V33}^{(2)}$; б – $F_{H22}^{(2)}$; в – $M_{X22}^{(2)}$; г – $F_{H44}^{(2)}$; д – $M_{X44}^{(2)}$

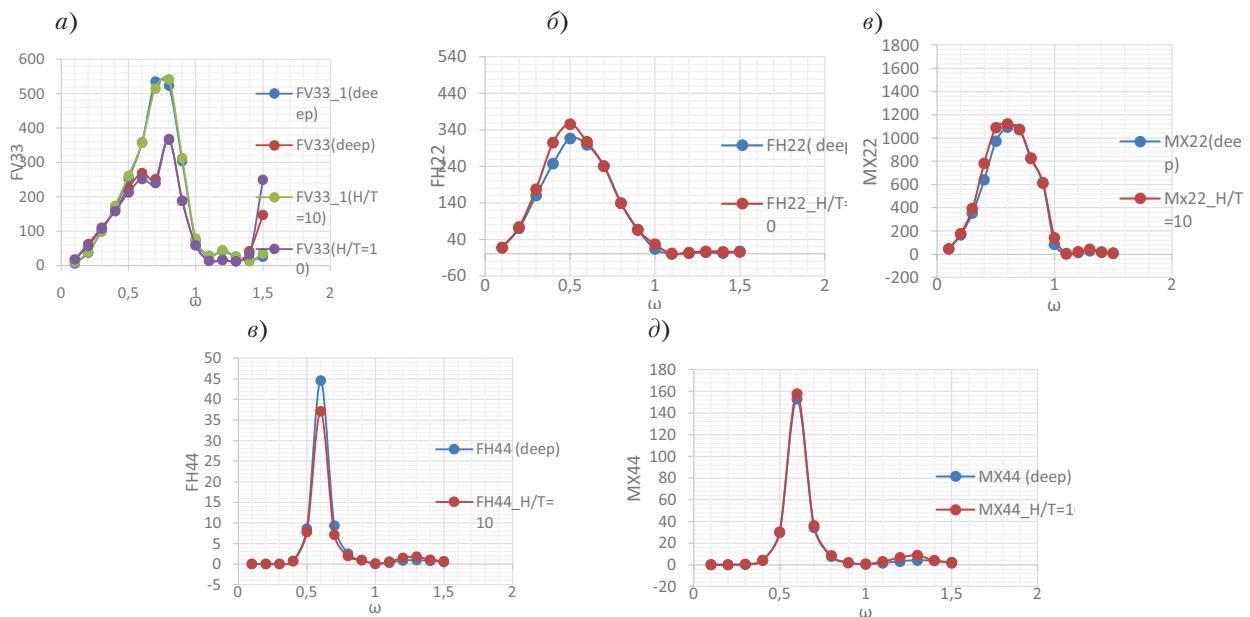


Рис. 8. Нелинейные силы и моменты для сухогруза «Стахановец Котов» при курсовом угле 120° : а – $F_{V33}^{(2)}$ и $F_{V33}^{(2)}$; б – $F_{H22}^{(2)}$; в – $M_{X22}^{(2)}$; г – $F_{H44}^{(2)}$; д – $M_{X44}^{(2)}$

На рис. 5 представлены результаты расчетов нелинейных сил для балкера «Капитан Панфилов» при расположении лагом в сравнении с расчетами по двумерному методу [2, 5]. Все представленные силы отнесены к квадрату волнового профиля. Из приведенных сопоставлений видно хорошее согласование результатов.

На рис. 6–8 приведены нелинейные силы и моменты, возникающие на различных курсовых углах для лихтеровоза «Алексей Косыгин», балкера «Капитан Панфилов» и сухогруза «Стахановец Котов». Результаты расчетов, выполненные при использовании функции Грина для бесконечно-глубокой жидкости, приведены в сравнении с расчетами по второй программе, использовавшей функцию Грина для жидкости ограниченной глубины.

Как видим, результаты расчетов всех нелинейных сил и моментов при использовании двух программ с разными функциями Грина отлично согласуются. Это говорит о значительном влиянии нелинейных сил и моментов на различные косые курсовые углы, как встречные, так и попутные.

Учет второй компоненты нелинейной вертикальной силы (18) очень значителен. Так, полная вертикальная сила может быть в 2–3 раза меньше части вертикальной силы, обусловленной потенциалом второго порядка (см. рис. 6–8, а). Нелинейные горизонтальные силы и моменты, возникающие при поперечно-горизонтальной качке на косых курсовых углах, имеют максимум в диапазоне низких и средних частот $\omega < 1$. Их значения в указанном диапазоне сопоставимы в ряде случаев со значениями соответствующих нелинейных сил и моментов при расположении судна лагом.

Для нелинейных сил и моментов, возникающих при бортовой качке $F_{H44}^{(2)}$ и $M_{X44}^{(2)}$, характерно наличие пиков на частотах, совпадающих со значениями собственных частот бортовой качки (рис. 6–8, г и д). На этих частотах они имеют максимальные значения, обусловленные влиянием квадрата амплитуд бортовой качки в основном резонансном режиме.

Таким образом, полученные нелинейные силы и моменты второго порядка могут быть использованы в дальнейшем при оценке амплитуд поперечной качки второго порядка на произвольных курсовых углах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенова В. Ю. Исследование и разработка программ расчета нелинейных гидродинамических сил, возникающих при колебаниях контуров корабельной формы на свободной поверхности жидкости. – Дисс. на соискание уч. степени. канд. техн. наук, СПбГМТУ, 1999.
2. Семенова В. Ю. Разработка метода расчета нелинейной качки судов // Дисс. на соиск. уч. степени д-ра техн. наук, СПбГМТУ, 2005.
3. Семенова В. Ю., Альбаев Д. А. Определение инерционно-демпфирующих сил второго порядка малости, возникающих при качке судна, на основании трехмерной потенциальной теории // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 2–1 (44). – С. 36–43.
4. Семенова В. Ю., Альбаев Д. А. Определение нелинейных сил второго порядка, возникающих при вертикальной качке судна, на основании трехмерной потенциальной теории // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 4–1 (46). – С. 6–69.
5. Со Чжо Ту. Разработка метода расчета нелинейных сил второго порядка, возникающих при качке судна на мелководье. – Дисс. на соискание. уч. степени. канд. техн. наук, СПбГМТУ, 2019.
6. Lee C. H. Wamit. Theory manual // Report Massachusetts institute of technology Department of Ocean Engineering, Cambridge. – 1995. – № 95–2.
7. Lee C. H., Zhu X. Second-order diffraction and radiation solutions on floating bodies. – 8th Int'l Workshop on Water Waves and Floating Bodies, St. John's, Newfoundland, Canada, 1993, p.165–185.
8. Ogilvie T. F. Second-order hydrodynamic effects on ocean platforms. – Proceedings of the International Workshop on Ship and Platform Motions, Berkeley, 1983, p. 205–265. ■

В исследованиях и практических приложениях эволюционной динамики судна особую актуальность приобретают анализ и синтез задач нестационарной динамики [1–12]. Поиск эффективных путей решения этой сложной проблемы привел к использованию методов и моделей, основанных на реализации современной компьютерной математики (СКМ) [6] и динамической модели современной теории катастроф (СТК) [5]. Теоретическая база моделей [5, 6] совершенствуется в направлении решения сложных проблем эволюционной динамики при различном уровне внешних возмущений. С помощью таких моделей эффективно решаются задачи идентификации и прогноза, контроля и управления (рис. 1).

МОДЕЛИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ДИНАМИКИ СУДНА В НЕСТАЦИОНАРНОЙ СРЕДЕ ЭКСТРЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Ю.И. Нечаев, *д-р техн. наук, проф., СПбГМТУ, контакт. тел. (812) 369 6337*



Рис. 1. Пространство эволюции сложной системы знаний

В отличие от традиционных вычислительных систем методы интерпретации информации на основе нестационарного анализа открывают возможности реализации решений в сложных динамических средах, обеспечивая режим визуализации и самонастройки системы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ БАЗИС ЭВОЛЮЦИОННОЙ ДИНАМИКИ СУДНА

Концептуальная модель обработки информации в функциональном пространстве эволюционной динамики судна (см. рис. 1) представлена на основе универсальной модели интерпретации сложных систем – динамической модели СТК [5]:

$$U(F) = \left\langle \begin{matrix} F(R^n, R^r); \\ \{M(\tau) \times V(S) \times D(W)\} \rightarrow Y(R) \end{matrix} \right\rangle, \quad (1)$$

где $U(F)$ – функциональное пространство эволюции судна; $F(R^n, R^r)$ – функционал, определяющий пространства поведения и управления СТК; $M(\tau)$ – модели знаний при интерпретации эволюционной динамики системы; $V(S)$ – элементы системы визуализации; $D(W)$ – процедуры генерации решений и выработки управляющих воздействий; $Y(R)$ – логические структуры знаний правила нечеткой формальной системы (НФС).

Задача исследования состоит в изучении поведения судна при различном уровне действующих возмущений. В рамках такой интерпретации проводятся измерения и обработка информации по определению динамических характеристик судна на основе следующих утверждений.

Утверждение 1. Вектор независимых параметров $\Lambda(\pi)$ характеризует режимы движения судна в пределах допустимой области. Равновесное состояние судна в диапазоне переменных от $\Lambda(\pi)_0$ до $\Lambda(\pi)_k$ определяется на основе выражений

$$\Lambda(\pi) = (\pi_1, \dots, \pi_k) \in \Omega; \quad (2)$$

$$\Omega: \forall q \in 1, \dots, p, \pi_q \in (\pi_q^{\min}, \pi_q^{\max}); \quad (3)$$

где $\Lambda(\pi)_0, \Lambda(\pi)_k$ – переменные для начального и конечного состояний равновесия.

Утверждение 2. Управляющее воздействие, изменяющее состояние судна в соответствии с заданным законом, описывается с помощью соотношений

$$y^* = y_0(\Lambda(\pi)_0), \quad y^*(\Lambda(\pi)_k) = y_k(\Lambda(\pi)_k), \quad (4)$$

где $y^*(\Lambda(\pi))$ – вектор, характеризующий многообразие равновесных состояний судна, определенных в выходных параметрических пространствах; $\Lambda(\pi)$ – вектор параметров (π_1, \dots, π_p) , характеризующий динамику судна и возмущающие воздействия для заданной эволюции.

Таким образом, задача контроля мореходности на основе выражений (2) – (4) состоит в рассмотрении стохастической дискретной системы с r -мерным пространством входов. Выходы системы в момент времени t представляют собой вектор-столбцы параметров (π_1, \dots, π_p) . Преобразование этой информации состоит в интерпретации данных физических измерений в виде информационного вектора $J(\pi_1, \dots, \pi_p)$.

Эволюция судна в функциональных пространствах УС развивается в соответствии с особенностями нестационарной динамики и формализуется на основе следующих теорем.

Теорема 1. Эволюционная динамика судна на интервале реализации $[t_0, t_k]$, интерпретируется в рамках динамической модели СТК, позволяющей выделять в процессе эволюции критические моменты времени возникновения экстремальных режимов функционирования и вырабатывать управляющие воздействия по предотвращению нестандартных (нештатных и чрезвычайных) ситуаций.

Теорема 2. Возникновение и развитие нестандартных ситуаций эволюционной динамики реализуется в виде фрактальной структуры, содержащей фиксированные отображения исследуемых параметров на временном интервале $t \in [t_0, t_k]$ текущей ситуации.

Теорема 3. Эволюционная динамика судна, заданная в виде фрактальной структуры, характеризуется предельными (критическими) состояниями при движении к целевому аттрактору (стабильное состояние) и при потере устойчивости (возникновение катастрофы). Условия перехода между этими предельными состояниями описываются на основе НФС.

Доказательство этих теорем применительно к контролю экстремальных ситуаций можно найти в работе [7] при рассмотрении приложения динамической модели СТК в задачах мореходности. Адаптация системы обеспечивается с помощью механизмов нечеткого управления, определяющих конфигурацию «вход–выход». При этом обратная связь может быть отрицательной при стабилизации судна в бассейне аттрактора, или положительной, ведущей к бифуркации, неустойчивости и хаосу.

Утверждение 3. Формирование структуры данных при моделировании нестационарной динамики реализуется в направлении перестройки организации данных в мультипроцессорной вычислительной среде [5, 6]. Процесс перестройки сопровождается фазовым переходом, в результате которого

го отмечается качественный скачок в изменении элементов динамики судна, причем последовательность перестройки осуществляется в виде следующей цепочки преобразования информации:

$$F(SA) \rightarrow \text{Fluct} \rightarrow \text{Bifurc} \rightarrow \text{Reorg} \rightarrow F(NSA), \quad (5)$$

где $F(SA)$ – функционирование в области притяжения исходной структуры-аттрактора; Fluct – отклонения (флуктуации); Bifurc – бифуркация; Reorg – реорганизация (фазовый переход); $F(NSA)$ – функционирование в области новой структуры-аттрактора.

В рамках представленной концептуальной модели формализуются процессы структурной и функциональной конфигурации эволюционной динамики на основе аппарата знаний НФС, организованной на базе синергетической теории управления [5, 6] и когнитивной парадигмы [10] с использованием принципа сложности [8] и концепции минимальной длины описания (Minimal Descriptijn Length – MDL) [1].

Принципиальное отличие сформулированного подхода к обработке информации состоит в использовании интегрированных моделей анализа и интерпретации динамических ситуаций. Реализация моделей нестационарной динамики судна определяется комплексным характером математического описания нарушений непрерывности исследуемых феноменов.

Интерпретация текущих ситуаций осуществлена на основе современного подхода к изучению нестационарных систем при непрерывном изменении динамики судна в условиях неопределенности и неполноты исходной информации. Разработанный метод исследований потребовал модификации исходного теоретического базиса на основе СТК: сформулированы теоремы, аксиомы, определения и утверждения применительно к сложным задачам нестационарной динамики.

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СРЕДА НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИКИ СУДНА

Интегрированная среда, отображающая концепцию исследования мореходности и системный синтез проблемы нестационарности, представлена в виде графической интерпретации множеств, определяющих эволюционную динамику судна в нестационарной среде. Такое представление реализовано с помощью механизма абстракции – *диаграммы Венна* [6] (рис. 2).

Диаграмма изображена в виде прямоугольника (область взаимодействия), содержащего круги, отображающие множества в виде области нестационарной среды (круг А), динамики взаимодействия (круг В) и результат взаимодействия в заданной среде (круг С). Множества пересекаются в наиболее общем случае, сформулированном в задаче интерпретации ситуации. Экспериментальные точки (структура эволюционирующей среды), характеризующие взаимодействие судна в нестационарной среде на интервале реализации, располагаются внутри различных областей диаграммы и рассматриваются как элементы соответствующих множеств.

Для прямоугольника $\Omega = \{b, c, d, e\}$ (рис. 2, а), определяется поле интерпретации для кругов $A = \{bcd\}$ и $B = \{c.e\}$ в виде функций интерпретации динамики нестационарной среды взаимодействия и внешнего возмущения (круги А и В) и результат реакции среды (круг С). Чтобы представить множество $A \cup (B \cap C)$, где $B' = \{x: x \notin B\}$ – дополнение множества В, рассмотрим общую диаграмму, показанную на рис. 2, б. Заштрихуем B' диагональными линиями в одном направлении, а С диагональными линиями в другом направлении (рис. 2, в). Площадь с двойной штриховкой представляет собой результирующее множество $B' \cap C$. На новой копии диаграммы заштрихуем эту область горизонтальными линиями, а А вертикальными. Вся заштрихованная на рис. 2, г область (показана темным цветом) представляет множество $A \cup (B' \cap C)$. Если $A \cap B = \emptyset$, то это соответствует диаграмме на рис. 2, д.

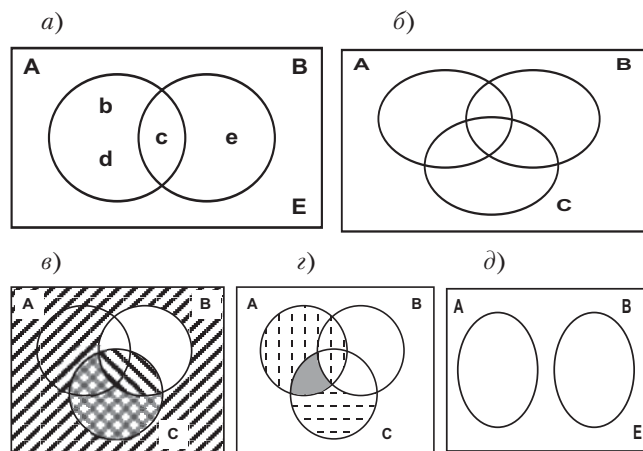


Рис. 2. Концептуальная модель, отображающая стратегию поведения судна в нестационарной среде

При возникновении фазового перехода эволюционирующая среда изменяет свое состояние и переходит в новый аттрактор в зависимости от уровня действующих возмущений. В результате происходит перестройка интерпретирующей структуры на рис. 2, заключающаяся в том, что реализуется новое поведение объектов взаимодействия с новыми целями и особенностями функционирования, а отображение области взаимодействия (фазы «расширения–сжатия» в рамках синергетической теории управления), и интерпретирующие круги трансформируются в новую конфигурацию, топология которой отображает рассматриваемые множества в нестационарной динамической среде.

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ДИНАМИКА СУДНА В ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩЕЙ СРЕДЕ

Рассматриваемые вычислительные технологии МПК базируются на фундаментальных результатах, полученных при исследовании концепции «климатического спектра» морского волнения, нестационарных ветровых потоков и методах оценки эволюционной динамики судна на основе СТК.

Динамика внешней среды. Гидродинамическая модель волнения в спектральной форме представлена как уравнение баланса волновой энергии [5]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial \varphi} \dot{\varphi} + \frac{\partial N}{\partial \theta} \dot{\theta} + \frac{\partial N}{\partial k} \dot{k} + \frac{\partial N}{\partial \beta} \dot{\beta} + \frac{\partial N}{\partial \omega} \dot{\omega} = G. \quad (6)$$

Здесь N – спектральная плотность волнового действия, которая является функцией от широты φ , долготы θ и волнового числа k и угла β между направлением волнового вектора и параллелью, а также от частоты ω и времени t . Это уравнение связывает между собой явления притока энергии от ветра, диссипации и ее перераспределения и нелинейного взаимодействия между частотными составляющими процесса волнения.

Динамика ветровых потоков. Воздействие ветра моделируется в зависимости от рассматриваемой ситуации. Наибольшее распространение получили схемы воздействия ветра, принятые в системах нормирования остойчивости. Аппроксимации функции $P(t)$, определяющей давление ветра, имеют вид

$$P(t) = \begin{cases} P, t \geq t_0; \\ 0, t < t_0; \end{cases} \quad (7a) \quad P(t) = \begin{cases} P, t_1 \leq t \leq t_0; \\ 0, t < t_0, t > t_1; \end{cases} \quad (7б) \quad P(t) = \begin{cases} P_0, t < t_0; \\ P_0 + \Delta P, t \geq t_0. \end{cases} \quad (7в)$$

Первое представление (7а) связано с внезапным нарастанием силы давления ветра при шквале от нуля до конечной величины P . Вторая схема (7б) аналогична первой, но с учетом продолжительности шквала. Согласно третьей схеме (7в) предполагается, что до порыва ветра уже существовал ветер силой P_0 и в момент t_0 возникает скачок динамической нагрузки. В более сложных ситуациях используют представление ветровых потоков в процессе решения задачи взаимодействия геофизических полей [6].

Динамика взаимодействия. Пространственное движение судна математически описывается с помощью нелинейной матричной модели [6]

$$X' = \Phi(X, U, W, t), \quad (8)$$

где X, U, W – матрицы-столбцы (векторы) переменных состояния, управляющих и возмущающих воздействий; Φ – нелинейная векторная функция, представляющая собой матрицу-столбец нелинейных функций, число которых совпадает с числом переменных состояния:

Реализация модели (8) осуществляется на основе различных интерпретаций поведения судна в нестационарной среде: уравнение Фоккера–Планка [6], метод функционала действия [7], модифицированные модели Дуффинга и Матье [5], а также систем дифференциальных уравнений [6].

Наиболее сложной функцией в моделях нестационарной динамики является пространственная функция восстанавливающего момента, входящая в дифференциальное уравнение бортовой качки и отличающаяся существенной нелинейностью, сложностью и многозначностью. Непрерывно изменяясь во времени и пространстве, эта функция в значительной степени определяет результат интегрирования при изучении физических картин взаимодействия судна с внешней средой [7].

СТРАТЕГИЯ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИКОЙ

Рассмотрим в виде следующих утверждений задачу исследования мореходности судна в нестационарной среде, заданной вектором фазовых координат на интервале реализации $[t_0, t_k]$ [5].

Утверждение 4. Оптимальная стратегия программного управления обеспечивает перевод судна из начального состояния в конечное с учетом требований безопасности исследуемой ситуации:

$$U^*(opt) = (u^*(t)) \in [t_0, t_k]. \quad (9)$$

Утверждение 5. Задача управления, генерации альтернатив и выбора решения представляется в виде:

$$\langle M, J_E, S, Q \rangle, \quad (10)$$

где M – модель динамики судна; J_E – минимизирующий функционал; S – стратегия оптимального управления; Q – характерные ограничения и связи.

Утверждение 6. Решение задачи (10) реализуется на основе множества исходных данных:

$$R = f(W, V, DO, U_0, U_1, [t_0, t_k]), \quad (11)$$

где W, V – возмущающие воздействия (множества параметров моделей внешней среды); DO – динамический объект (нестационарная система); U_0 и U_1 – нижние и верхние границы интервала изменения управляющих воздействий; $[t_0, t_k]$ – интервал контроля динамики судна.

Стратегия оценки адекватности моделей динамики судна (рис. 3) определяет вычислительные процедуры в виде последовательности этапов в рамках концепции MDL [1] и теории сложности [8].

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ МОДЕЛЕЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИКИ

На реальном волнении картины нестационарной динамики разнообразны и усложнены наличием нерегулярных колебаний. Эксперименты по наблюдению процесса опрокидывания, проведенные на самоходных радиоуправляемых моделях судов в естественных условиях (в открытом море, в бухте, заливе, на озере), позволили выделить три характерных случая опрокидывания: низкочастотный резонанс; полная потеря остойчивости; броуинг [6].

Интерпретация динамических картин колебательного движения судна в резонансных режимах представлена на рис. 4 в виде модели модифицированной катастрофы сборки. Элементами, определяющими эту катастрофу, являются $B(\theta), B(\psi)$ – бифуркационные множества и точка сборки P , отображающие пространство катастроф. Таким образом, существенные черты, связанные с отображением катастрофы, представлены последовательностью пространств взаимодействия, а бифуркационное множество $B(\theta)$ отображает эту структуру в соответствии с универсальностью катастрофы сборки.

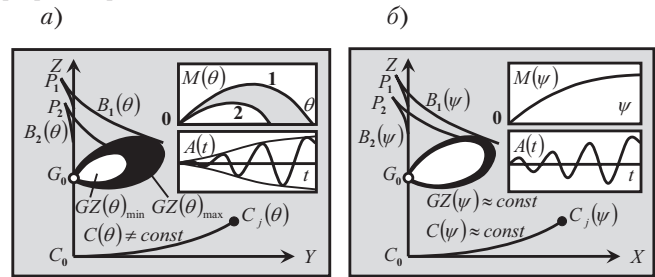


Рис. 4. Геометрическая интерпретация режимов бортовой (а) и килевой (б) качки при основном резонансе

Как следует из рассмотренных резонансных режимов бортовой (рис. 4, а) и килевой (рис. 4, б) качки, интерпретация динамических ситуаций в этих случаях существенно различна. Так, если в случае бортовой качки колебательный режим в значительной степени определяется пульсацией кривых, отображающих множество $GZ(\theta)$ как динамическую среду между двумя экстремальными значениями $GZ(\theta)_{max}$ и $GZ(\theta)_{min}$ с переменным по времени средним значением случайного процесса, то для килевой качки области $GZ(\psi)$ в продольной плоскости меняются незначительно и можно принять, что $GZ(\psi) = const$, использовать диаграмму продольной остойчивости $M(\psi)$ при описании и интерпретации динамики судна при килевой качке. Бифуркационное множество $B(\theta)$ при бор-

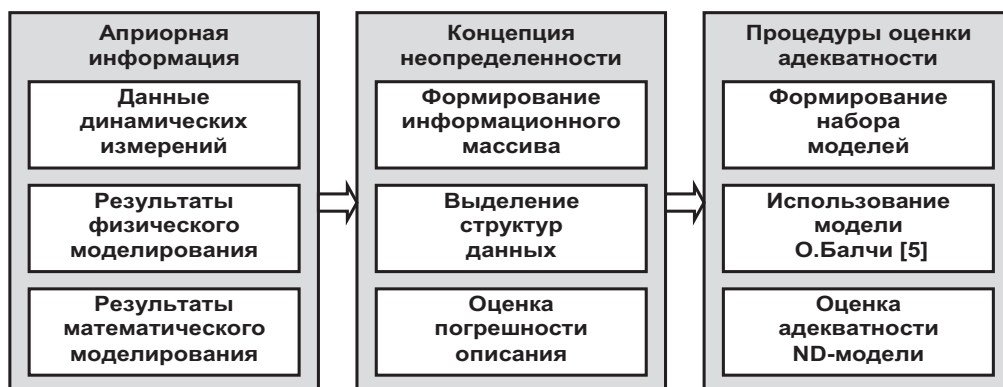


Рис. 3. Стратегия оценки адекватности моделей нестационарной динамики

товой качке отражает процесс деформации множества $C(\theta)$, отображающего структурные изменения в форме подводной части корпуса вследствие непрерывного изменения профиля действующей ватерлинии.

Динамическая модель, реализующая ситуацию полной потери устойчивости (а) и в режиме «брочинга» (б), представлена на рис. 5.

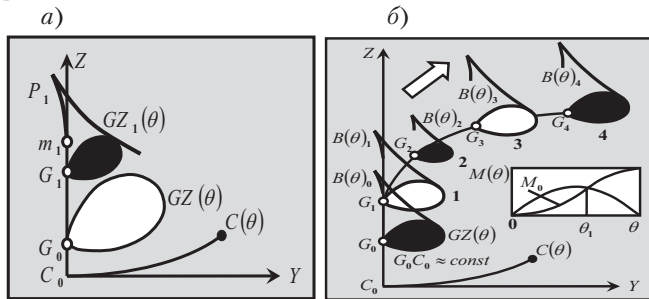


Рис. 5. Динамическая модель СТК при полной потере устойчивости (а) и в режиме «брочинга» (б)

Здесь рис. 5, а отображает следующие структуры: бифуркационное множество с точкой сборки P_1 (кривая, касательная к структуре $GZ_1(\theta)$ (темная область); трансформации исходной (светлой) области $GZ(\theta)$ вследствие резкого ухудшения динамики взаимодействия. Кривая $C(\theta)$ имеет тот же смысл как и на рис. 4, а. Динамика судна в режиме «брочинг» (рис. 5, б) представлена вместе с данными аналитической интерпретации. Получается достаточно сложная картина, отображающая эволюцию движения судна на плоскости YZ . Здесь точками 1–4 показаны фиксированные положения ЦМ судна G_1 – G_4 , а через $B(\theta)_1$ – $B(\theta)_4$ обозначены соответствующие бифуркационные множества. В момент «захвата» судно находится на переднем склоне. Точка G_0 фиксирует момент «захвата», а точка G_1 – выход из этой ситуации и начало разворота судна на волнении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка и совершенствование теоретических основ моделирования поведения судна в эволюционирующей среде – одно из наиболее сложных направлений исследования динамики судна в условиях нестационарных ветроволновых

возмущений, где традиционные методы оценки взаимодействия теряют физический смысл, а понятие о потере устойчивости (опрокидывании) требует уточнения в зависимости от конфигурации нестационарного волнового поля и физических эффектов взаимодействия.

Таким образом, объем и содержание вычислительно-экспериментального эксперимента и его последовательность определяются разработанной стратегией нестационарной динамики, а его достоверность не может быть выше точности результатов физического моделирования. Коэффициенты математических моделей определяются по данным систематических испытаний в гидроаэродинамических лабораториях и с помощью самоходных радиоуправляемых моделей на естественном волнении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
2. Красовский А. А., Наумов А. И. Аналитическая теория самоорганизующихся систем управления с высоким уровнем искусственного интеллекта // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 1. – С. 69–75.
3. Моисеев Н. Н. Избранные труды. – М.: Тайрекс Ко, 2003. Т. 1. – 376 с., Т. 2. – 264 с.
4. Нечаев Ю. И. Моделирование устойчивости на волнении. Современные тенденции. – Л.: Судостроение, 1989. – 240 с.
5. Нечаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. – СПб: Арт-Экспресс, 2011. – 392 с.
6. Нечаев Ю. И. Компьютерная математика: прикладные аспекты. – СПб: Арт-Экспресс, 2019. – 368 с.
7. Системы искусственного интеллекта с интеллектуальных технологий XXI века. – СПб: Арт-Экспресс, 2011. – 376 с.
8. Солодовников В. В., Тумаркин В. И. Теория сложности и проектирование систем управления. – М.: Наука, 1990. – 341 с.
9. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986. – 285 с.
10. Nechaev Yu. I., Degtyarev A. B., Boukhanovsky A. V. Cognitive computer graphics in information interpolation in real time intelligence systems. – Proc. of International conference «Computational Science-ICCS 2002». Amsterdam. Part.1. The Netherlands. Springer. 2002, p.683–692.
11. Szalay A. Extreme data-intensive scientific computing // Computing in Science & Engineering. – 2011. – Т. 13. – №. 6. – С. 34–41.
12. Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chicago, April 25–26, 2007. – [Электронный ресурс]: <<http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php>>. ■

С амо понятие плавучести впервые сформулировано 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» [1]. 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 устойчивости 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.

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

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 устойчивости 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].

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 линеаризации 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 линеаризации 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 линеаризацией 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 условием переливания «внутренней жидкости» будет иметь вид

$$\begin{aligned} & (J_c + J_{ж} + \lambda_{44}) \ddot{\theta} + 2N \dot{\theta} + D I(\theta) + \\ & + \ddot{y} \rho \sum_{m=1}^{\infty} \beta_m^2 + \ddot{\theta} \rho \sum_{m=1}^{\infty} \delta_m \beta_m + \rho \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{\beta_m}{\lambda_m} - \delta_m \right) \ddot{q}_m = \\ & = (D h_0 - \lambda_{44} \sigma^2) \chi_0 \alpha_0 \sin \sigma t + 2N_0 \chi_0 \sigma \alpha_0 \cos \sigma t + L_0. \end{aligned} \quad (7)$$

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

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

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

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

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

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

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

где $J + i$ – момент инерции при условии, что влившаяся вода заморожена; $i_b = 4M_3 b^2 \Gamma(f)$ 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

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

Изменение момента инерции поврежденного судна от волнового влияния свободной поверхности

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

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 $J_{эфф}$.

С учетом вышесказанного решения будем искать по выражению

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

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

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

θ_0 – начальный угол крена поврежденного судна.

Тогда, согласно [6], можно определить гармоническую линейную нелинейную величину 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 как постоянные, поэтому уравнение (16) 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 восстанавливающего момента от угла крена 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 отклонение от положения равновесия зависит уже от параметров качки корабля и возмущающих сил. Зависимость амплитуды и частоты колебаний от 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:

$$\begin{aligned} D l_0 &= L_0; \\ Q_m [L - \sigma \frac{2}{2\pi} + 2\nu_0 i\sigma] + \bar{D} l_m &= H i - i\beta; \end{aligned} \quad (18)$$

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

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

$$\text{при } \psi = [(\sigma t + \Sigma) + \beta];$$

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

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 линейной нелинейности, 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 накренинии учесть: влившуюся в отсеки жидкость; конфигурацию затопленного отсека; оголение 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., Дорогостайский Д.В., Прытков Ю.К. Теория непотопляемости судна. – Л.: Судостроение, 1973.
9. Справочник по теории корабля (в 3-х т.) / Под ред. Войткунского Я.И. – СПб.: Судостроение, 1973.
10. Мотрич В. Новый бермудский треугольник или потери Миртового флота в 2017 г. // Морской флот. – 2018. – №4.
11. Ярисов В.В. Проектное и нормативное обслуживание характеристик безопасности малотоннажных рыболовных судов. – Дисс. на соискание степени д-р техн. наук, Н.Новгород, 2017. ■

При движении транспортного судна на ледовом плавании в битом льду наблюдается взаимодействие корпуса судна с ледовыми образованиями, как показано на рис. 1.

К корпусу судна прикладывается сила от упора винтов, и судно ледового плавания начинает прямолинейное движение. С увеличением скорости под носовой оконечностью слой битого льда уплотняется, образуя ледяной вал, который толкается корпусом по ходу движения судна. Лед в данном районе прижимается к обшивке корпуса силами плавучести и гидродинамическими силами, поскольку внешняя нормаль скорости к наружной обшивке составляет острый угол с направлением хода судна [1]. В наблюдениях отмечалось, что часть ледяного вала, находящаяся под водой, значительно больше надводной [7]. Это объясняется разными значениями плотности воды и льда. По мере движения транспортного судна в мелкобитом льду увеличивается нагромождение слоя льда, который движется впереди носовой оконечности. Замечено, что уплотненный слой льда «достраивает» носовую оконечность корпуса, придавая ей обводы, удобные для движения в битом льду.

Представленная конструкция очень похожа на корпус судна с более обтекаемыми геометрическими формами носовой оконечности. Данное образование авторы предложили называть «ледяной наделкой». При движении речного судна ледового плавания со скоростью около 2–3 м/с и осадкой около 3 м взаимодействие корпуса с льдинами происходит по действующей ватерлинии. Наблюдаемая ледяная наделка работает, как разводящий клин, передвигая окружающий ее битый лед по нормалям в каждой точке поверхности ледяной наделки (рис. 2).

При перемещении масс уплотненного льда впереди носовой оконечностью происходят отрыв крайних льдин и смена их другими обломками льда при сохранении формы ледяной наделки. Если

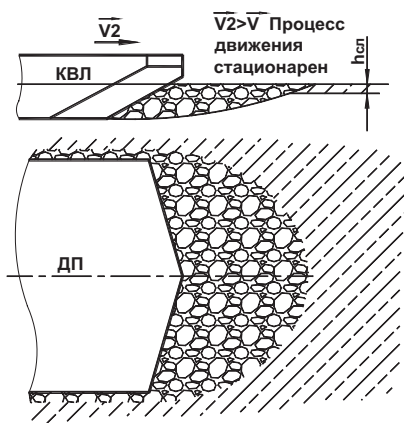


Рис. 2. Стационарное движение в битом льду

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ НОСОВОЙ ОКОНЕЧНОСТИ СУДНА ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ НА ХОДКОСТЬ В БИТЫХ ЛЬДАХ

Е.М. Грамузов, д-р техн. наук, проф. НГТУ им Р.Е.Алексеева,
Б.П. Ионов, д-р техн. наук, зам. гл. инженера ПАО «ЦКБ «Айсберг»,
М.Ю. Сандаков, канд. техн. наук, доцент,
Н.Е. Тихонова, канд. техн. наук, доцент, НГТУ им Р.Е.Алексеева,
 контакт. тел. +7(910) 871 2583



Рис. 1. Движение транспортного судна в битых льдах

мощности силовой установки достаточно для движения судна с толкаемой перед корпусом массой уплотненного льда (ледяной наделкой), то наблюдается устойчивое движение судна с постоянной скоростью. Можно сказать, что процесс движения судна в мелкобитом слое льда стационарен.

В представленном сценарии важно значение осадки судна T , м. Замечено, что обтекание корпуса битым льдом по ватерлинии происходит при отношении осадки судна к толщине слоя битого льда не менее $T/h > 4$.

Во время натурных наблюдений отмечен еще один сценарий взаимодействия судна с ледяным покровом при движении в слое битого льда. С уменьшением значений отношения осадки к толщине слоя битого льда $1 < T/h < 4$ наблюдается следующая физическая картина: часть масс льда копится перед носовой оконечностью корпуса и срывается под действием потока воды под днище, обтекая корпус судна вдоль батоксов. Ледяная наделка перед форштевнем судна сохраняет свои формы, благодаря новым подошедшим обломкам, заменяющим лед, перемещенный под днище корпуса (рис. 3). Битый лед, двигаясь под днищем, увеличивает площадь контакта корпуса с обломками, создавая дополнительное ледовое сопротивление движению судна. При равенстве силы ледового сопротивления

и силы тяги скорость судна становится постоянной. Масса толкаемого льда перестает увеличиваться, сохраняя геометрию и размеры ледовой наделки.

На явление срыва части льда под корпус влияют различные факторы: величина угла примыкания ватерлинии к диаметральной плоскости корпуса и угла наклона форштевня, скорость движения судна, толщина слоя битого льда, осадка судна.

Как видно из ранее проведенных исследований [5], можно высказать гипотезу о геометрической форме поверхности ледовой наделки. На виде сверху ледовая наделка расположена симмет-

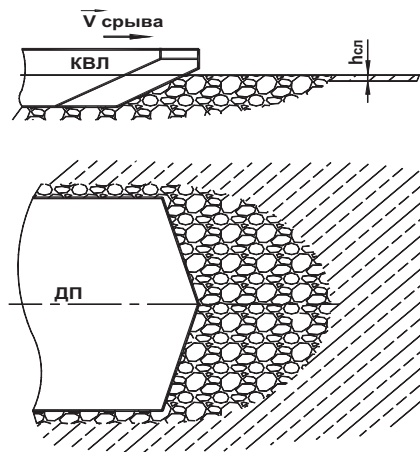


Рис. 3. Срыв части ледяной наделки под днище судна

рично относительно продольной оси (диаметральной плоскости судна) с шириной ледового образования, близкой к ширине судна. На виде сбоку форма наделки ограничена плавной кривой линией, величина которой по вертикали плавно изменяется от нуля до размера осадки судна.

Создание ледовой наделки – процесс динамический, а значит, судно должно обладать скоростью. Вектор скорости движения направлен параллельно диаметральной плоскости судна, и очевидно, что продольный размер ледовой наделки связан со скоростью движения судна в битых льдах. Траектории перемещения обломков льда, огибая ледовую наделку, являются линиями положительной кривизны относительно диаметральной плоскости и основной линии корпуса судна. Гипотеза достраивания частицами льда носовой оконечности судна ледового плавания при создании ледовой наделки до четверти трехосного эллипсоида не противоречит картине взаимодействия слоя битого льда и корпуса судна, имеющего большой коэффициент общей полноты носовой оконечности. Согласно принятой гипотезе о форме поверхности ледяной наделки в виде четверти эллипсоида, расположенного впереди движущегося судна, можно записать уравнение эллипсоида в канонической форме [5]:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1. \quad (1)$$

Геометрия эллипсоида относительно корпуса представлена в следующем виде (рис. 4): центр эллипсоида расположен в точке пересечения действующей ватерлинии с диаметральной плоскостью и теоретическим шпангоутом, в корму от которого имеется цилиндрическая вставка корпуса, большая ось эллипсоида расположена на линии пересечения действующей ватерлинии с диаметральной плоскостью судна, две другие оси расположены в плоскости теоретического шпангоута.

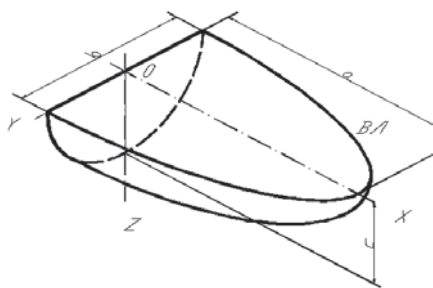


Рис. 4. Ледовая наделка в виде четверти эллипсоида

Для математического описания ледовой наделки необходима четверть эллипсоида, представленная на рис. 4. Запишем граничные условия:

$$\begin{aligned} 0 &\ll x \ll a; \\ -\frac{B}{2} &\ll y \ll \frac{B}{2}; \\ 0 &\ll z \ll T. \end{aligned} \quad (2)$$

На основании натуральных наблюдений и модельного эксперимента [8] величина полуосей эллипсоида определится следующим образом:

$$a = B \cdot 2,61 \cdot e^{-7,85Fr}; \quad b = \frac{B}{2}; \quad c = T, \quad (3)$$

где B – ширина судна, T – осадка судна относительно действующей ватерлинии, величина a – значение наибольшей полуоси эллипсоида (нельзя определить, исходя только из геометрических размеров корпуса).

Ледовая наделка – это образование, связанное с движением судна в битом льду, имеющее динамическую природу. Число Фруда в определении переменной длины ледовой наделки a представлено относительно ширины корпуса B . Это объясняется тем, что ширина судна – характерный параметр в расчетах ледовой ходкости [4, 6]. Изменение длины корпуса незначительно влияет на ледовое сопротивление в битых льдах. Определить величину продольной (наибольшей) полуоси эллипсоида позволили модельные исследования, проведенные авторами.

Уравнение эллипсоида (ледовой наделки) с учетом граничных условий примет вид

$$\frac{x^2}{(B \cdot 2,61 \cdot e^{-7,85Fr})^2} + \frac{y^2}{\left[\frac{B}{2}\right]^2} + \frac{z^2}{T^2} = 1. \quad (4)$$

Из результатов проведенных исследований становится ясно, что с полем мелкобитого льда взаимодействует не корпус судна, а ледовая наделка. Она расположена впереди форштевня корпуса, а ее геометрическая форма значительно отличается от обводов носовой оконечности судна ледового плавания. Из вышесказанного очевидно, что величина угла наклона форштевня φ_1 не влияет на ледовую ходкость судна ледового плавания в сплоченном битом льду.

Для проверки высказанных предположений были проведены физические модельные исследования в опытовом бассейне НГТУ им. Р.Е. Алексеева [1]. Для выполнения задачи было создано поле мелкобитого сплоченного (10 баллов) льда с толщиной, в пересчете на натуральный лед, 0,4 м. В качестве модельного льда был выбран гранулированный полиэтилен высокого давления. Данный материал более полно удовлетворяет требованиям теории подобия для

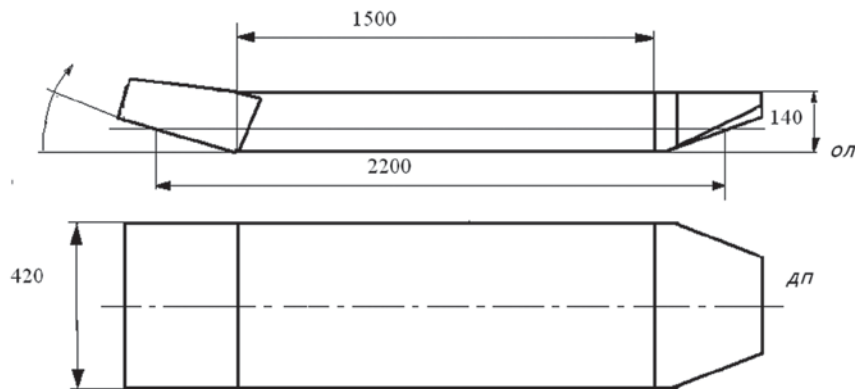


Рис. 5. Модель судна с изменяемым углом наклона форштевня



Рис. 6. Модель в поле мелкобитого льда

имитации битого льда. По физико-механическим свойствам полиэтилен высокого давления наиболее близок к натурному льду.

Была построена модель транспортного судна ледового плавания с изменяемыми элементами геометрии носовых обводов корпуса. На модели можно было менять угол наклона форштевня к ОЛ от 15° до 90° (рис. 5 и рис. 6).

При проведении модельных исследований движения судна в битых льдах соблюдалось геометрическое подобие модели и натурального судна, а также выполнялись условия подобия [2, 3]:

$$\begin{aligned} Fr &= \text{idem}; \rho_{\text{л}}/\rho_{\text{в}} = \text{idem}; f = \text{idem}; \\ S &= \text{idem}. \end{aligned} \quad (5)$$

По результатам модельного эксперимента [8] была построена графическая зависимость скорости движения натурального судна от угла наклона форштевня к ВЛ в мелкобитом сплоченном (10 баллов) льду толщиной 0,4 м при различных значениях силы тяги (рис. 7).

Анализ полученных зависимостей позволил утверждать, что угол наклона форштевня транспортного судна ледово-

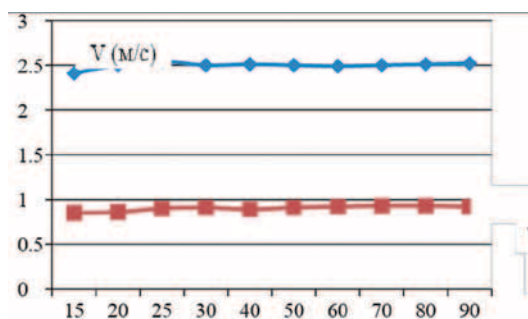


Рис. 7. Зависимость скорости судна в битом льду от угла наклона форштевня при различных значениях силы тяги

го плавания практически не оказывает влияния на ледовую ходкость в сплоченном мелкобитом льду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев В.А., Грамузов Е.М. Взаимодействие судов со льдом. – Горький: Горьков. политехн. ин-т., 1988. – 89 с.
2. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов: Монография. – СПб.: Судостроение, 2001. – 512 с.
3. Ионов Б.П., Грамузов Е.М., Зуев В.А. Проектирование ледоколов: Монография. – СПб.: Судостроение, 2013. – 512 с.
4. Сазонов К.Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. – СПб: Изд. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2010.
5. Ионов Б.П., Сандаков М.Ю. Исследование взаимодействия судов с большим коэффициентом общей полноты и битого льда // Морской вестник. – 2013. – №4(48). – С.88–89.
6. Ионов Б.П. Ледовое сопротивление и его составляющие. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 80 с.
7. Каштелян В.И., Позняк И.И., Рывлин А.Я. Сопротивление льда движению судна. – Л.: Судостроение, 1968. – 238 с.
9. Сандаков М.Ю., Гуцин Е.А. Модельные исследования ледовой ходкости судов с большим коэффициентом полноты в битом льду. – Мат-лы конфер. «Будущее технической науки». – Н. Новгород: Изд. НГТУ. – 2010. – С.237–238. ■

При проектировании и создании подводной лодки (ПЛ) возникает множество сложных конструкторских, технологических и производственных задач, решение которых в кратчайшие сроки возможно при условии непрерывного оперативного взаимодействия между предприятиями кооперации. Наиболее наглядно и показательное решение перечисленных задач предлагается рассмотреть на заказах малого водоизмещения, где цена ошибки при проектировании на ранних этапах наиболее высока. В данной статье рассматривается традиционный порядок взаимодействия предприятий, бюро-проектанта и верфи, предлагается оптимальная схема информационного обмена данными при формировании облика центрального поста управления (ЦПУ) и создании автоматизированных комплексов ПЛ малого водоизмещения.

Для формирования требований к определению облика ЦПУ ПЛ малого водоизмещения необходимо учитывать ряд особенностей (см. таблицу).

Перечисленные основные особенности формирования облика ЦПУ проектант предусматривает (учитывает) в технических заданиях (требованиях) на разработку (модернизацию) автоматизированных комплексов управления. Для выполнения заданных требований

РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ СОЗДАНИИ КОМПЛЕКСОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК МАЛОГО ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ

*И.И. Зайцев, начальник сектора,
Д.В. Шамановский, инженер-конструктор,
Е.В. Бутер, инженер,
М.А. Ахрестин, инженер-конструктор,
АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812)242 1554*

организации – разработчики отдельных комплексов с учетом имеющегося опыта формируют облик составных систем управления. Формирование общей структуры автоматизированной системы управления ПЛ малого водоизмещения, удовлетворяющей заданным требованиям ТЗ, выполняется путем интеграции составных комплексов.

Основные варианты создания единой боевой интегрированной системы управления для ПЛ малого водоизмещения: разработка на базе уже имеющихся отдельных автоматизированных комплексов, разрабатываемых различ-

ными организациями, данный вариант применим при выполнении модернизационных работ, когда модернизируемое оборудование размещается на заказах на тех же местах, что и базовое оборудование.

Возможен вариант разработки 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 [4].

№	Основные особенности
1	Малое водоизмещение ПЛ, незначительный внутренний объем, как следствие, минимизация массогабаритных характеристик приборов, систем управления ПЛ, кабельных связей
2	Малая численность экипажа ПЛ исключает возможность иметь в его составе узких специалистов по боевому и техническому обслуживанию отдельных подсистем
3	Ограничения по количеству личного состава ПЛ требуют тщательной проработки состава оборудования по назначению и функциям, а также в целом структуры главного командного пункта (ГКП), его организации при различных видах боевой и повседневной деятельности ПЛ
4	Суммарное энергопотребление приборов систем управления ПЛ с учетом обеспечения их электропитанием от локальной системы управления (ЛСУ) энергетической установки (ЭУ) должно быть минимально возможным

В процессе научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР) при создании новых объектов морской техники и ПЛ малого водоизмещения, а также при выполнении составной части (СЧ) ОКР при разработке современных систем управления, которые образуют в конечном итоге ЦПУ, необходимо на ранних этапах проектирования 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 эффективного выполнения экипажем функций по прямому назначению ПЛ [4].

На этапе эскизного проектирования основная задача состоит в формировании архитектурно-конструктивного облика ПЛ, включая ЦПУ, уточнении состава технических средств, определении основных кораблестроительных элементов [3]. Для формирования оптимального облика ЦП необходимо на данном этапе рассмотреть возможные варианты размещения комплексов (пультов управления и оборудования), определить наилучший с точки зрения современных требований эргономики размещения и монтажа на заказе, удобства несения вахты и обслуживания систем. Для оптимального решения задачи на этапе эскизного проектирования в кратчайшие сроки необходимы задел, вариативность конструктивного исполнения как самого электрооборудования (контрагентом), так и вариативность исполнения облика ЦП ПЛ (проектантом). Она с достаточной степенью детализации может выполняться до заключения контракта, например, в рамках концептуального проектирования и НИР внутри предприятий с учетом готовых проектов. Это позволяет сформировать задел, предусмотреть вариативность конструктивных исполнений оборудования, сократить время создания автоматизированных комплексов управления.

На этапе технического проекта, когда заключен договор между проектантом и контрагентом, разработчиком автоматизированных систем управле-

ния, необходимо выбрать оптимальный вариант исполнения облика ЦПУ еще на этапе эскизного проекта, выполнить детализацию, а именно: разделить единый облик на составные элементы, по функциональному назначению систем определить возможность применения унифицированных блоков и модулей, технологию изготовления, способы стыковки и крепления с фундаментами заказа, выбрать оптимальный по массогабаритным, мощностным, тепловым, эргономичным параметрам в соответствии с требованиями ТЗ приборный состав. Для проектанта на данном этапе важно получить электронную геометрическую модель (ЭГМ) со всеми необходимыми параметрами оборудования (масса, потребляемая мощность, тепловыделение, координаты, зоны обслуживания оборудования и подвод кабелей и др.). Данная информация позволит проектанту в автоматизированном режиме выполнить расчеты потребляемой мощности систем, определить характеристики систем кондиционирования воздуха в помещениях заказа, выполнить автоматизированный расчет весовой нагрузки и в целом оценить требуемые уточнения по доработке облика ЦП. Стоит отме-

тить, что системы автоматизированного проектирования (САПР) для разработки 3D-моделей оборудования у контрагентских организаций, проектанта и верфи различны, поэтому обмен данными возможен в нейтральных форматах. Полученную от контрагента ЭГМ проектант размещает на ЭГМ заказа, с учетом всех необходимых требований формирует ЦПУ, а в случае выявления конструктивных нестыковок замечания к ЭГМ направляет контрагенту для рассмотрения и возможности корректировки. Предлагаемая схема цифрового взаимодействия разработчиков автоматизированных систем и проектанта представлена на рис. 1.

С учетом требуемых сжатых сроков проектирования и изготовления единого конструктива ЦПУ предлагается работу по созданию единого конструктива, внедрению в него сопрягаемых комплексов вести через одного исполнителя, это позволит исключить промежуточные пересогласования между контрагентами – разработчиками многочисленных сопрягаемых комплексов и перейти к единому конструктиву. КД на единый конструктив ЦПУ головной исполнитель согласовывает с проектантом для размещения и сопряжения ЦПУ на заказе. Также 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.

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. Также данный подход – от облика ЦП к системам – позволит сократить



Рис. 1. Перспективная схема цифрового взаимодействия контрагента и проектанта

время проектирования и разработки РКД, сократить время и затраты при выполнении ремонта/модернизации на заводах-строителях [4].

На начальном этапе рабочего проектирования на макете или 3D-стенде необходимо оценить эргономику, удобство эксплуатации, интерфейс и органы управления, при необходимости перед запуском в производство уточнить конструктивные требования с проведением необходимых экспертиз.

На данном этапе КД проектант на установку электрооборудования и прокладку кабелей высылается на завод-строитель и электромонтажное предприятие (ЭМП).

В настоящее время процесс обмена данными между проектной организацией и ЭМП носит односторонний характер и имеет достаточно ограниченный объем по номенклатуре передаваемой информации. В согласованном формате в ЭМП передаются основные проектные данные (по описанию схем, перечню кабельных коробок и стаканов, их составу, а также информация по журналу затяжки магистральных кабелей).

Для проектанта представляет интерес получение «обратной» связи с заказа при выполнении ЭМР, например, получение актуальной информации о фактически затянутых кабелях, их маршруты.

С целью повышения оперативности обмена данными рассматривается возможность решения вопросов, возникающих в ходе строительства, связанных с актуализацией КД по результатам фактического выполнения ЭМР (затяжка кабельных трасс, установка электрооборудования и проч.) электронным путем, через ввод фактической информации с заказа по результатам ЭМР в информационную систему и автоматизированного сравнения с проектными данными для оперативной актуализации (корректировки подлинников КД) в обеспечение сдачи строительных районов заказа.

Перспективная схема цифрового взаимодействия с верфями и ЭМП представлена на рис. 2.

Реализация электронного взаимодействия обмена данными в части проектных и технологических решений по электротехнической части между контрагентом, бюро-проектантом и ЭМП через выделенный канал АО «ОСК» в перспективе позволит:



Рис. 2. Перспективная схема цифрового взаимодействия проектанта с верфями и электромонтажным предприятием

1. Сократить сроки и трудоемкость проектирования и корректировки конструкторской, технологической, эксплуатационной документации по электротехнической специализации непосредственного выполнения ЭМР, изготовления, модернизации, ремонта и испытаний электротехнического оборудования за счет оперативности, достоверности, полноты и удобства представления информации.

2. Повысить качество актуализации информации в корректируемых КД проектанта с целью сохранения принятых технических и технологических решений на последующих серийных заказах.

3. Эффективно использовать актуальные данные на всех стадиях жизненного цикла создания электротехнической продукции и выполнения электромонтажных работ.

Цифровое взаимодействие между предприятиями, участвующими в создании комплексов автоматизированных систем управления позволяет повысить оперативность и скорость совместных работ, сократить сроки и повысить качество проектирования (корректировки) КД, сократить время постройки и сдачи заказов.

Также цифровое взаимодействие позволяет сформировать общий задел,

пополнять «Базу знаний» типовых технических и технологических решений на контрагентских предприятиях, в проектных организациях, верфях и перейти к технологии сквозного проектирования и изготовления различных автоматизированных комплексов и систем по схеме: контрагент – проектант – ЭМП – завод, расположенных в разных регионах РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев А.Б., Воробьев М.Н. и др. Боевая система для подводной лодки ограниченного водоизмещения. – Система управления и обработки информации: Науч.-техн. сб./АО «Концерн «НПО «Аврора», СПб., 2007.
2. Волобуев В.Н., Дымент А.Б. и др. Основные направления создания и развития интегрированных систем боевого управления (ИСБУ) для перспективных проектов неатомных подводных лодок (НАПЛ). – Система управления и обработки информации: Науч.-техн. сб./АО «Концерн «НПО «Аврора», СПб., 2018.
3. Кормилицын Ю.Н., Хализев О.А. Проектирование подводных лодок: Учебник. – СПб.: Элмор, 2004.
4. Зайцев И.И. и др. Проблематика интеграции комплексов автоматизированных систем управления при создании ПЛ малого водоизмещения // Морской вестник. – № 2 (74) 2020. – Вып. 2 (74). ■

В работах [1, 2] приведены результаты экспериментальных исследований несущей способности иллюминаторов высокого давления со стеклоэлементом в форме оболочки из органического и неорганического стекла с использованием обжимных шайб (рис. 1). Отмечено, что точное определение значения параметров обжимной шайбы в данных конструкциях имеет большее значение, чем в иллюминаторах со светопрозрачным элементом в форме диска. Назначение обжимной шайбы 3 (см. рис. 1) в данных конструкциях – создать радиальные усилия, способствующие проскальзыванию торцевой контактной поверхности оболочки 1 и обоймы 2, напряженное состояние стеклоэлемента в ограниченной контактной зоне, близкое к трехосному, а напряженное состояние оболочки в целом близкое к безмоментному и обеспечить при этом герметичность на различных этапах нагружения.

В данной работе рассматриваются конструкции, в которых контакт внутренней боковой поверхности обжимной шайбы и внешней поверхности оболочки происходит по цилиндрической поверхности (см. рис. 1).

Изложенный ниже материал также верен для конструкций со стеклоэлементом в форме цилиндрической оболочки [1].

Иллюминаторы со светопрозрачным элементом в форме оболочки можно условно разделить на две группы. К первой можно отнести изделия с малой радиальной деформацией стеклоэлемента, не превышающей первоначальный натяг Δ . В этом случае контакт боковой поверхности обжимной шайбы и стеклоэлемента происходит на всех этапах работы изделия. Для оценки возможного осевого смещения шайбы δ в первом приближении можно применить предложенную в [3] методику их определения. В уравнении, связывающем натяг Δ и осевое смещение шайбы δ , следует учитывать ослабление натяга в результате деформации оболочки

$$\Delta = \Delta_1 - u_r, \quad (1)$$

где Δ_1 – первоначальный натяг, u_r – радиальное смещение внешней поверхности оболочки.

К таким конструкциям следует отнести иллюминаторы со светопрозрачным элементом из неорганического стекла и лейкосапфира.

Ко второй группе следует отнести конструкции с возможным образованием зазора между внутренней цилиндрической поверхностью обжимной шайбы и наружной поверхностью оболочки в процессе гидростатического нагружения, что может привести к нарушению герметичности. Такие ситуации возникают с иллюминаторами со светопрозрачным элементом из низко модульного материала (например, органического стекла) в результате неточного подбора геометрических и механических параметров обжимной шайбы и нестабильности коэффициента трения между торцевой контактной поверхностью стеклоэлемента и обоймой. Поэтому в процессе проектирования необходимо оценить максимально возможное значение зазора Δ , величину гидростатического давления q , параметры шайбы α , a , H (соответственно угол конусности, минимальную толщину и высоту обжимной шайбы), при которых происходит ее контакт с оболочкой при определенной величине ее осевого смещения δ и параметра β . Чем меньше значение q и больше Δ , тем точнее будет определена необходимая комбинация геометрических параметров обжимной шайбы.

Как и в [3, 4], величина β – отношение максимального сжимающего напряжения, действующего на боковую поверхность ($z = H$) и вблизи поверхности приложенного гидростатического давления ($z = 0$). Для рассматриваемых конструкций

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ОБЖИМНОЙ ШАЙБЫ ИЛЛЮМИНАТОРОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ СО СТЕКЛОЭЛЕМЕНТОМ В ФОРМЕ ОБОЛОЧКИ

Н.М. Вихров, д-р техн. наук, проф.,

ген. директор ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»,

В.П. Лянзберг, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, начальник

науч. группы МАИ (национального исследовательского университета),
контакт. тел. +7(915) 222 2977

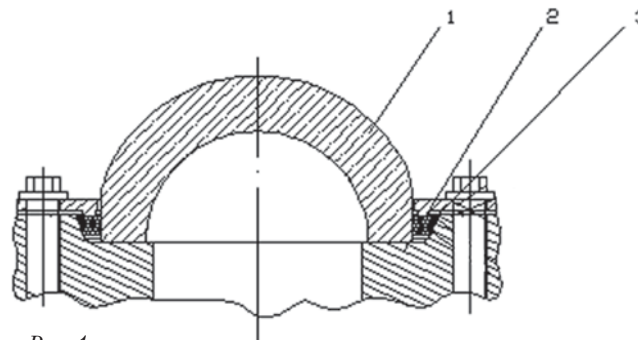


Рис. 1

необходимая величина β также зависит от качества материала стеклоэлемента и контактной поверхности и изменяется в процессе нагружения.

Далее используются обозначения, принятые в работе [3], где изложено решение задачи для обжимной шайбы из уравнений равновесия трехмерной осесимметричной задачи теории упругости при следующих допущениях. Распределение напряжений

$$\sigma_z = -q \times \left(1 - \frac{z}{H}\right). \quad (2)$$

Так как шайба проскальзывает в коническую полость между стеклоэлементом и обоймой, то при $r = R_0$

$$\tau_{rz} = 0. \quad (3)$$

Итоговое соотношение, связывающее геометрические, технологические параметры и приложенное гидростатическое давление, имеет вид

$$A \times \Delta^2 + B \times \Delta \times \delta + C \times \delta^2 = D \times \delta. \quad (4)$$

Величины A , B , C , D являются функциями указанных выше параметров. Задавая одну из величин δ или Δ , получаем квадратное уравнение относительно другой. Проведен анализ решения данного уравнения при наличии первоначального зазора между цилиндрической поверхностью стеклоэлемента и обжимной шайбы.

В работе [4] было отмечено, что если величина давления выше некоторой критической величины, то соответствующее ей осевое смещение шайбы этот зазор ликвидирует, а решение уравнения (4) имеет действительные корни. В противном случае решением этого уравнения являются комплексные числа. Этим свойством можно воспользоваться для оценки в первом приближении точности выбора комбинации геометрических и механических параметров обжимной шайбы иллюминатора со светопрозрачным элементом в форме оболочки. Отметим некоторые особенности подбора параметров обжимной шайбы для данных конструкций. Поскольку высота обжимной шайбы ограничена, значение угла конусности может изменяться в значительных пределах (10 – 150°) в зависимости от рабочего давления P . Минимальная толщина обжимной шайбы и ее

высота также оказывают значительное влияние на несущую способность оболочки.

Рассмотрим конструкцию, показанную на рис. 1, при следующих первоначальных значениях параметров. Внутренний диаметр обжимной шайбы – 0,14 м, ее высота $H = 0,01$ м, угол конусности $\alpha = 65^\circ$, минимальная толщина обжимной шайбы $a = 0,0055$ м. Шайба была выполнена из полиэтилена низкого давления с модулем $E = 95$ МПа и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,4$. Проведены вычисления при различных возможных комбинациях конструктивных параметров.

Отметим основные выводы. При первоначальном зазоре $-0,0003$ м решение уравнения [3] имеет действительные корни (т.е. имеется контакт между боковой поверхностью внутренней поверхностью шайбы и оболочки передаются радиальные сжимающие усилия) в интервале внешнего давления $q = 60\text{--}50$ МПа. Величина q при значении первоначального зазора, равного $\Delta = -0,0002$ м, соответствует 40 МПа. При величине Δ , равной $-0,00015$; $-0,00010$; $-0,00005$; $-0,00003$ м, q соответственно равно 30; 19,5; 9,8; 6,0 МПа. Если радиальное смещение внешней поверхности цилиндрической части поверхности оболочки в указанном интервале гидростатического давления меньше соответствующих указанных значений Δ , то контакт обжимной шайбы и оболочки осуществляется на всем интервале приложения гидростатического давления.

Таким образом, при фиксированных геометрических и механических параметрах обжимной шайбы с увеличением

Δ значение q также увеличивается. Данные величины можно корректировать изменением как одного, так и одновременно нескольких параметров. Если параметры α , a , H соответственно равны 70° , 0,006 м, 0,010 м, то значение q при первоначальном зазоре $\Delta = 0,0002$ м соответствует 33 МПа. При том же значении Δ и параметрах α , a , H , соответственно равных 75° , 0,006 м, 0,010 м, $q = 30,5$ МПа. Если увеличить высоту H до 0,0015 м при тех же значениях α , то величина $q = 28,3$ МПа. В наибольшей степени q , Δ , а также β зависят от значений параметров минимальной толщины a и угла конусности α обжимной шайбы. Чем больше значение α и меньше a , тем больше значение β .

ЛИТЕРАТУРА

1. Лянзберг В.П. Акриловые иллюминаторы высокого давления со светопрозрачным элементом в форме оболочки // Вестник МАИ. – 2008. – Т.15. – С.5–9.
2. Лянзберг В.П. Несущая способность оболочек из неорганического стекла при гидростатическом нагружении // Морской вестник. – 2016. – №2(58). – С.47–49.
3. Вихров Н.М., Лянзберг В.П. Определение параметров обжимной шайбы иллюминаторов высокого давления // Морской вестник. – 2018. – №3(67). – С.48–49.
4. Лянзберг В.П., Вихров Н.М., Шнуренко А.А. К вопросу выбора параметров обжимной шайбы иллюминаторов высокого давления // Морской вестник. – 2019. – №3(71). – С. 47–48. ■

Структурные преобразования и оптимизация отрасли были провозглашены в качестве одних из главных задач достижения главной цели Стратегии развития судостроительной промышленности на период 2007–2020 гг. – создание нового конкурентоспособного облика судостроительной промышленности.

28 октября 2019 г. распоряжением № 2553-р Правительства РФ утверждена «Стратегия развития судостроительной промышленности до 2035 года». Среди задач на указанный период дальнейшая интеграция предприятий судостроения незначится.

За годы реализации Стратегии 2007–2020 гг. были проведены серьезные структурные преобразования в отрасли. В частности, была образована и приступила к полноценной работе Объединенная судостроительная корпорация (ОСК). Но значит ли это, что структура отрасли приобрела оптимальный характер?

Авторы на основе анализа современного зарубежного опыта попытались ответить на этот вопрос.

Первое, на что необходимо обратить внимание при анализе зарубежного опыта, – это ускоренные процессы интеграции судостроительных активов.

8 марта 2019 г. южнокорейская корпорация Hyundai Heavy Industries (HHI) подписала официальное соглашение о приобретении другой ведущей южнокорейской судостроительной корпорации Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME)¹. Общий сводный

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В СУДОСТРОЕНИИ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

А. А. Алексахин, канд. эконом. наук, советник ген. директора АО «ОСК»,
В. В. Дударенко, председатель совета директоров ООО «Судпромкомплект»,
Л. М. Клячко, д-р техн. наук, советник заместителя ген. директора ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
контакт. тел. (495) 617 3948

портфель заказов на суда обеих южнокорейских корпораций на 1 января 2019 г. составил 31,4 млрд. долл. (21,2% от общего мирового по стоимости), или 16,98 млн. компенсированных брутто-т по тоннажу. Данные корпорации также являются крупнейшими строителями боевых кораблей практически всех классов для ВМС Южной Кореи, и их объединение позволит ей стать одним из ведущих игроков на мировом рынке военного кораблестроения.

В Китае было официально объявлено о создании China Shipbuilding Group, в которой были объединены верфи и активы China State Shipbuilding Co (CSSC) и China Shipbuilding Industry Co (CSIC)².

Напомним, что в 1999 г. судостроение Китая было разделено на две крупные корпорации – CSSC и CSIC. Это было сделано, как было анонсировано, с целью развития конкурентной среды. Двадцать лет понадобилось правительству Китая, чтобы понять, что главное для развития

национального судостроения – не внутренняя конкуренция, а сохранение и укрепление своих позиций на уровне мировых лидеров судостроения.

Правительство Японии предполагает объединить 15 крупнейших судостроительных верфей в единую судостроительную суперкорпорацию³. Проект слияния разрабатывает министерство земельных ресурсов, транспорта и туризма страны. Две крупнейшие судостроительные компании Японии – Imabari Shipbuilding и Japan Marine United – заявили о создании альянса и начале слияния капитала.

Подобные процессы наблюдаются и в Европе. Так, в ходе встречи на высшем уровне Президента Франции и премьер-министра Италии, состоявшейся 27.09.2017 г. в Лионе, Франция, было объявлено о предстоящем объединении двух кораблестроительных фирм – французской Naval Group и итальянской Fincantieri⁴.

¹ <https://bmpd.livejournal.com/3564296.html>, 2019, 10 March.

² ТАСС, 2019, 26.11.

³ ТАСС, 2020, 28.03.

⁴ www.naval-technology.com/

Второе, на что следует обратить внимание при изучении зарубежного опыта, это *проведение не только горизонтальной, но и вертикальной интеграции*.

Включение в контур судостроения предприятий-производителей судового комплектующего оборудования объясняется тем, что корпусные работы (а именно этим занимаются верфи) составляют 15–20% от стоимости судна, в то время как комплектующее оборудование – 80–85%.

Так, в состав China Shipbuilding Industry Co (CSIC) включены предприятия, производящие военно-морское оборудование (в том числе, артиллерийские и ракетно-артиллерийские системы, навигационное, телекоммуникационное и компьютерное оборудование, инженерную технику). В состав CSSC входят предприятия судового машиностроения: по производству дизелей (Marine Diesel, Аньцин), систем вентиляции и кондиционирования (Jiujiang Haitian Equipment, Цзюцзян)), противопожарные системы (CSSC Jiujiang Changan Fire Fighting Equipment, Цзюцзян), крановое оборудование, рулевые машины (CSSC Nanjing Luzhou Machine, Нанкин, South China Marine Machinery), арматура и гидравлика (Jiangxi Marine Valve, Jiangxi Chaoyang Machinery), подъемное оборудование (Hua Hai Marine Cargo).

Бизнес-деятельность ННИ-EMD была расширена за счет таких областей морского машиностроения, как новые решения для СПГ. В результате в настоящее время ННИ-EMD занимает 30% мирового рынка дизельных двигателей для морских и стационарных целей. Это показывает, что превосходное качество двигателей Hyundai признается клиентами во всем мире⁵. Начав с лицензионного производства (в частности, фирмы МАН), компания перешла к собственным разработкам.

Иногда эти процессы идут в противоположном направлении: приборостроительные корпорации приобретают судостроительные активы. Корпорация BAE Systems, созданная в 1999 г. путем слияния компаний «Бритиш аэроспейс» и «Маркони электроник системз», являющаяся крупнейшим производителем морского радиоэлектронного оборудования, в последующие годы активно приобретала крупные судостроительные активы. В состав корпорации были интегрированы «Ярро шипбилдирс» – производитель военных кораблей для ВМС Великобритании, «Виккерс шипбилдинг энд инжиниринг» – производитель подводных лодок для Королевского флота. В настоящее время в состав корпорации входит семь судостроительных предприятий

с численностью занятых 14,46 тыс. человек (39,8% от общей численности работающих)⁶.

Третье – это *межгосударственная кооперация* при проектировании и производстве морской техники. Наряду с созданием интегрированных структур ведущие судостроительные державы стремятся к развитию широкой кооперации при создании морской техники, что позволяет оптимизировать расходы не только на стадии проектирования и строительства кораблей, но и экономить средства в период всего жизненного цикла за счет унификации систем обслуживания кораблей и их вооружения, поставки запчастей, подготовки и повышения квалификации специалистов необходимых специалистов.

Кроме того, для НАТО строительство кораблей по единым проектам способствует интеграции кораблей как своих ВМС, так и флотов союзников при проведении совместных операций.

Эта кооперация развивается по разным направлениям:

- в рамках межгосударственных союзов (НАТО, ЕС);
- реализация совместных проектов в рамках двухстороннего или многостороннего сотрудничества;
- использование систем вооружения разработки третьих стран.

Следует отметить, что, несмотря на многочисленные декларации о развитии военно-технического сотрудничества в рамках НАТО и ЕС, серьезные

народных программ, первой из которых была совместная программа ВМС США и ведущих стран Западной Европы «NATO Frigate Replacement, или NFR 90». Планировалось построить около 60 кораблей водоизмещением более 5000 т. Однако возникшие разногласия стран-участниц программы NFR 90 привели к тому, что данная программа была свернута.

Вместе с тем кораблестроительные программы НАТО обсуждаются и координируются в рамках альянса. В ЕС, например, в 2004 г. было образовано Европейское оборонное агентство (European Defence Agency), которое должно было заниматься развитием обороноспособности, в том числе формированием европейского оборонного рынка, разрабатывать нормативно-правовые акты в области регулирования оборонных исследований, разработки и закупок вооружений.

В мае 2016 г. предполагалось начать пилотную программу стоимостью 1,4 млн. евро, которая должна будет стать основой более масштабных исследований, планируемых на 2017–2020 гг., а затем еще на семь лет. Указанные планы обусловлены возрастающими в последнее время проблемами безопасности в Европе. Ежегодное финансирование работ в период 2017–2020 гг. может составить всего 80,0 млн. евро, при этом, однако, в 2021–2027 гг. общая сумма планировалась в размере 3,5 млрд. евро⁷.



Эсминец УРО типа 45

проекты по созданию военно-морской техники в рамках этих организаций реализовывались не слишком успешно. Так, в 80–90-е гг. ВМС стран НАТО стали вести разработку новых боевых надводных кораблей в рамках между-

В 1996 г. в интересах промышленной консолидации оборонного сектора Европейского союза по инициативе Франции и Германии была образована Организация по сотрудничеству в сфере совместных вооружений (Organisation de Cooperation Conjointe en Matiere d'Armement, или OCCAR), в которую

⁷ ВМС и кораблестроение // Дайджест зарубежной прессы, № 80.

⁶ Богуславский С. Транснациональная корпорация BAE Systems: состав и структура // Зарубежное военное обозрение. – 2018. – № 9. – С. 28–35.

⁵ https://english.hhi.co.kr/biz/engine_over

позже вступили Великобритания, Италия, Бельгия и Испания⁸.

Создаются союзы и вне рамок блоков и международных организаций. 4 ноября 2009 г. министры обороны Швеции, Норвегии, Дании, Финляндии и Исландии подписали меморандум об объединении усилий в области обороны и создали новую организацию Nordefco (Nordic Defence Cooperation). Следует, справедливости ради, отметить, что по итогам более десятилетней деятельности союза практически нет сведений о реализации совместной разработки технологий, что было провозглашено одной из главных целей формирования данного альянса⁹.

Стремление к кооперации при создании военно-морской техники проявляют не только страны ЕС и НАТО. Так, в августе 2017 г. министерство обороны Японии опубликовало документ «Japan's Defence White Paper 2017»¹⁰, содержащий основные принципы и приоритеты, которыми руководствуется ведомство в процессе приобретения систем вооружения и военной техники. Среди основных требований к организации приобретения новых систем указана необходимость развития и продвижения кооперации и сотрудничества с другими странами.

Более продуктивным показало себя двух- и многостороннее сотрудничество по проектированию и строительству кораблей.

После свертывания проекта NFR 90 Франция и Великобритания, а затем Италия решили продолжить совместные работы по созданию перспективного фрегата ПВО в рамках новой программы «The Common New Generation Frigate», или CNGF («Horizon»). В сентябре 1999 г. Великобритания, приняв решение о выходе из программы «Horizon», продолжила работы по созданию собственного корабля, который открыл новый класс «Type 45» и будет состоять из шести эсминцев стоимостью 1 млрд фунт. стерлингов каждый.

На начальных этапах работ по программе «Horizon» предполагалось построить 22 корабля ПВО: 12 для ВМС Великобритании (на замену эсминцев УРО ПВО типа 42), четыре для ВМС Франции и шесть для ВМС Италии. К 2017 г. были построены шесть кораблей для ВМС Великобритании (эсминцев УРО типа 45 «Daring», 2012–2013 гг., рис. 1) и по два для ВМС Франции и Италии

(типов «Forbin» и «Andrea Doria» соответственно, 2004–2011 гг.).

Практически одновременно с программой «Horizon» в начале 1990-х гг. ВМС Нидерландов и ФРГ начали работы по созданию фрегата ПЛО (затем переориентированного на ПВО). В 1994 г. к ним присоединилась Испания, и программа получила название «Trilateral Frigate Cooperation». В 1997 г. к этим странам присоединилась Норвегия, затем Дания, а в начале 2000-х гг. и Австралия. В рамках программы «Trilateral Frigate Cooperation» в 2000–2012 гг. были построены четыре фрегата типа «De Zeven Provinciën» ВМС Нидерландов, три – типа 124 «Sachsen» ВМС Германии, пять – типа «Alvaro de Bazan» ВМС Испании, пять – типа «Fritiof Nansen» ВМС Норвегии и три – типа «Ivar Huitfeldt» ВМС Дании.

Параллельно с вышеуказанными программами в 2002 г. были начаты работы по франко-итальянской программе создания многоцелевых фрегатов («Frigate European MultiMission» (FREMМ) которые продолжают в настоящее время. В работе участвуют две ведущие компании – Armaris (DCN + Thales), Франция

которого будет вестись совместная работа по созданию новых ПЛ для ВМС Италии с целью замены четырех устаревших дизель-электрических ПЛ типа «Sauro» (постройки 1988–1995 гг.). Первые две новые ПЛ планируется ввести в состав ВМС в 2025–2026 гг. В настоящее время фирма KTA Naval System выполняет разработку концепции перспективной неатомной ПЛ Type 212 CD (Common Design). ВМС Норвегии планируют приобрести четыре таких ПЛ, ВМС Германии – две. Ожидается, что первая ПЛ может войти в состав ВМС в середине 2020-х гг.

Западные страны активно развивают кооперацию и при создании корабельного оружия и вооружения. При этом в ходе строительства национального флота ведущие зарубежные страны широко используют системы вооружения и оружия, разработанные другими национальными компаниями.

28 марта 2017 г. между Великобританией и Францией подписано соглашение, инициирующее трехгодичную разработку концепции программы создания перспективных ПКР FC/ASW (Future Cruise/AntiShip Weapon)¹¹.



Итальянский эсминец типа «Horizon», оснащенный системой PAAMS

и Orizzonte Sistemi Navali (Fincantieri + Finmeccanica), Италия. Несмотря на существующие разногласия, проект успешно продвигается.

Четыре в серии из десяти фрегатов типа «Carlo Bagamini» ВМС Италии введены в эксплуатацию в 2013–2015 гг. Планируется построить серию из шести ЭМ типа «Aquilaine» для ВМС Франции, три из них введены в эксплуатацию 12.11.2012 г., 12.06.2015 г. и 16.03.2016 г. В рамках программы FREMM построено по одному кораблю для ВМС Марокко и Египта.

Объединение усилий наблюдается и при строительстве подводных лодок (ПЛ). В марте 2017 г. Италия и Герма-

В 1980-х гг. началась разработка системы PAAMS как первой общеевропейской зенитной ракетной системы дальнего радиуса действия, способной осуществлять прикрытие кораблей от массированного воздушного нападения с применением современных противокорабельных ракет. Головным разработчиком комплекса является европейский консорциум EUROSAM, образованный в июне 1989 г. фирмами Aérospatiale (Франция), Alenia (Италия) и Thomson-CSF (изменила свое название с на Thales в декабре 2000 г.). В настоящее время система PAAMS

¹¹ Janes International Defence Review. – May 2017. – Vol. 50.

⁸ Letter of Intent (LoI) Framework Agreement Treaty, 27 July 2000.

⁹ <https://www.gov.uk/letter-of-intent-restructuring-the-european-defence-industry>.

¹⁰ Janes Defence Weekly. – 2017. – Vol. 54 (16 August). – № 33. – P. 19.

развернута на шести эсминцах тип 45 (Великобритания), двух фрегатах типа «Horizon» (Франция), двух фрегатах типа «Horizon» (рис. 2) (Италия).

Четвертое – все проекты интеграции в зарубежном судостроении проходили по инициативе и при активной поддержке государства, в том числе и финансовой. Так, проект интеграции судостроительных предприятий в Южной Корее предусматривает оказание через банк KDB государственной поддержки на сумму 2,5 трлн. вон (2,25 млрд. долл.) (при этом государство за последние 10 лет потратило на помощь DSME более 10 трлн. вон, или 10 млрд. долл.).

Как выглядит на фоне этих тенденций российское судостроение?

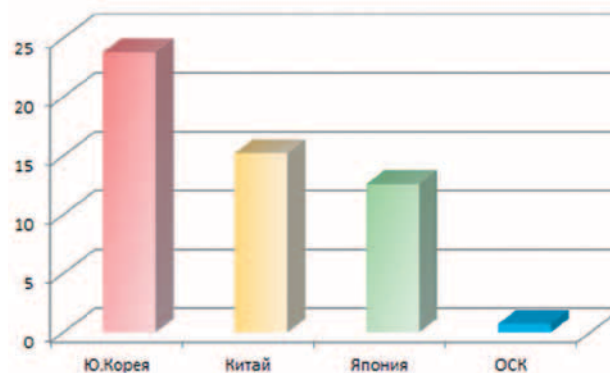
Горизонтальная интеграция идет: расширение ОСК, интеграция предприятий Крыма, однако более активно происходит создание новых центров кристаллизации судостроения: судостроительный кластер создан в рамках ГК «Ростех», появилась Судостроительная корпорация «АкБарс», новые судостроительные мощности создаются Роснефтью, Новатекком, строится Жатайская верфь.

Строительство новых судостроительных мощностей – это, конечно, отрадное явление. Вместе с тем реализация этих проектов осуществляется при серьезной государственной поддержке.

Сравнение результатов интеграции судостроительных компаний Южной Кореи (HHI и DSME), Китая и Японии (Imabari Shipbuilding Co. и Oshima Shipbuilding Co.) в сравнении с «ОСК»¹² (рис. 3) наглядно демонстрирует ее конкурентные возможности.

Идеи дальнейшей интеграции судостроительной промышленности России, создания некой интегрированной структуры постоянно обсуждаются в последнее время. При этом в качестве исторического аналога приводят пример Министерства судостроительной промышленности СССР.

Сразу стоит отметить, что Минсудпром СССР не объединял все судостроительные предприятия. Всего в стране судостроением и судоремонтом занимались предприятия около 20 ведомств¹³. Текущий ремонт кораблей и ПЛ выполняли заводы Минобороны. Граждан-



Годовая выручка интегрированных структур судостроения, млрд. долл.

ским флотом в основном занимались (в сфере ведения) Минморфлот, Минрыбхоз, Минрыбчрефлот, хотя основное строительство гражданских судов осуществлялось за границей (в основном в странах СЭВ). В Минсудпроме СССР были сосредоточены основное кораблестроение, средний ремонт и модернизация кораблей, а также строительство судов (как, например, атомный ледокольный флот), имеющих национальное значение.

Вспоминая опыт Минсудпрома СССР, можно отметить, что в его состав кроме кораблестроительных главков (1-й главк – подводное кораблестроение, 2-й главк – надводное кораблестроение) и главков гражданского судостроения входили главки, в подчинении которых были предприятия-разработчики и производители корабельного радиоэлектронного вооружения и оружия, судовой электротехники, машиностроения. Это пример вертикальной интеграции.

К сожалению, в ходе реструктуризации эти предприятия исчезли из контура судостроения. Из созданных интегрированных структур судового приборостроения АО «Концерн «Гранит-электрон» и АО «Концерн «Морское подводное оружие-Гидроприбор» интегрированы в корпорацию «Тактическое ракетное вооружение». Первой «ласточкой» в этом процессе была передача в 2003 г. НПО «Альтаир» в «Алмаз-Антей». Может быть, современные проблем с ЗРК «Штиль-1», «Полимент-Редут» являются отрывкой такого решения.

Указом Президента РФ от 1 апреля 2020 г. № 235 создана АО «Корпорация морского приборостроения», в состав которой вошли АО «Концерн «Моринформсистема-Агат», АО «ЦНИИ «Электронприбор», АО «Концерн «Океанприбор», АО «Концерн «НПО «Аврора». Правительству РФ данным указом пред-

писано – в 20-месячный срок обеспечить проведение соответствующих мероприятий по созданию корпорации.

Вместе с тем ГК «Ростехнологии» ранее был подготовлен альтернативный проект указа о передаче указанных концернов в состав ГК «Ростехнологии». В Минпромторге, комментируя указ президента о создании АО «Корпорация морского приборостроения», заявили, что вопрос интеграции создаваемой корпорации в состав «Ростеха» «целесообразно рассматривать не ранее чем через 5–10 лет после анализа эффективности ее работы и выполняемых задач в интересах обороны и безопасности государства»¹⁴.

Что касается разработки и создания военно-морской техники предприятиями отечественного судостроения совместно с зарубежными, то они окончились без ощутимых результатов¹⁵, как, например, российско-итальянский проект создания «экологически чистой» боевой дизель-электрической ПЛ пр. S1000 в 2004 г. или российско-индийский проект «Брамос». В современных условиях глобальных санкций такие проекты еще более маловероятны.

Таким образом, основным путем сохранения и укрепления конкурентоспособности отечественной морской техники (которая объективно снижается: если в начале века доля военно-морской техники в общем объеме ВТС достигала трети, то сейчас составляет 5–10%)¹⁶, является консолидация судостроительных активов, усиление роли государственного управления развитием судостроения. ■

¹² Данные по АО «ОСК» приведены из годового отчета за 2017 г.

¹³ Как утверждает известный ученый в области судостроения В. Ю. Маринин, судостроением и судоремонтом занимались предприятия 25 ведомств.

¹⁴ «Коммерсант», 4 апреля 2020 г.

¹⁵ [http://bastion-karpenko.ru/s1000/ВТС «БАСТИОН» А. V. Karpenko](http://bastion-karpenko.ru/s1000/ВТС%20«БАСТИОН»%20А.%20V.%20Karpenko).

¹⁶ ВТС России в 2019 году. Основные тренды // Новый оборонный заказ. – 2020. – № 2 (61).

С атрица, в которой разворачивается жизнь современного человечества, может быть идентифицирована различными терминологическими вариациями: рыночная экономика, капитализм, свободное предпринимательство и т.д. Имманентными особенностями этого типа общества являются такие социально-экономические характеристики, как доминирование частной собственности над средствами производства, ориентация целеполагания экономической деятельности на извлечение прибыли, взгляд на конкуренцию как движущую силу развития, рынок – основной регулятор экономики и т.д., деньги и финансовую архитектуру как каркас общественных институтов.

Наряду с социально-экономическими аспектами, важными составляющими общества, служат также политико-правовые, культурные и нравственные особенности.

Термин «капитализм» происходит от понятия «капитал», который существует в трех ипостасях – производственный, товарный, денежный. Последний, как показывает изучение процесса развития капитализма, является основным, существующим в последнее время преимущественно в форме заемного (ссудного) капитала и неизбежно подчиняет себе как товарный, так и производственный. Такое его значение подчеркивается и тем, что все экономические факторы описываются и измеряются практически целиком в денежной форме, что дает основание для употребления предложенного В.Ю. Катасоновым [4] определения капитализма как «денежной цивилизации». Трактовка понятия «денежная цивилизация» в корне отлична от традиционной марксистской категории «социально-экономическая формация; как совокупность экономического базиса и надстройки». Базис – система экономических отношений между людьми по поводу производства, обмена, обращения и потребления и потребления продукта труда. Надстройка – система отношений в сфере культуры, права, политики и идеологии. История человечества есть последовательная смена формаций, а двигателем процесса выступает развитие производительных сил, ведущее сначала к изменению базиса, затем надстройки и всей формации.

Основы учения о цивилизации заложил русский ученый Н.Я. Данилевский [1]. За рубежом рассматривали историю человечества как процесс смены цивилизаций Арнольд Тойнби, Освальд Шпенглер [8] и др.

Цивилизация состоит из базиса и надстройки; в качестве первого выступают духовное состояние общества, его цели и система ценностей, а в качестве надстройки – все общественные отношения – экономические, политические,

ГЕНЕЗИС СОВРЕМЕННОЙ ДЕНЕЖНОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ

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

правовые, культурные и общественные институты. В любом обществе в любой момент можно видеть состояние многих форм экономических отношений, способов производства, хозяйственных укладов. Денежная цивилизация – определенный тип общества, существующий на протяжении нескольких тысячелетий. Неоднократно менялись внешние формы, политические устройства, материальная культура, техника, официальные религии и т.д., но остаются неизменными некие общие признаки – стремление части общества к накоплению богатства; изменение сознания ведет к изменению социального поведения, социально-имущественной поляризации и т.д.

Современная денежная цивилизация – это не продукт объективных законов общественного развития, а результат «денежной» революции. Ее формирование происходило не в виде естественной эволюции, а в результате столкновения различных интересов, взглядов, систем ценностей (например, в России в 1990-е гг.). Это не одномоментный переход власти, а перманентная революция, длящаяся уже несколько веков и проявляющаяся в изменении сознания и систем ценностей общества, заменой их ценностями и нормами тех сил, которые еще в Древнем мире создавали очаги денежной цивилизации – Египет, Вавилон, Рим и т.д.

Античная экономика была разрушена: сократился объем товарно-денежных отношений, деградировала торговля, а промышленность пребывала в зачаточном состоянии ремесленного производства. Поле деятельности ссудного капитала ограничивалось кредитованием государственных расходов и военных действий. С утверждением христианской религии запреты на ссудный процент вводились и ужесточались на базе догматов церкви. К исходному периоду формирования денежной цивилизации человечество уже пережило несколько революций цивилизационного масштаба:

1. Неолитическая революция – переход от присваивающего хозяйства к производящему (земледелие, скотоводство) и три крупных общественных разделения труда:

- отделение скотоводства от земледелия;
 - отделение ремесел от земледелия (формирование рынка);
 - обособление торговли от ремесла.
2. Технологические революции (ка-

менный, медно-бронзовый, железный век);

3. Социальный уклад (первобытно-общинный строй, рабовладение, феодализм).

С точки зрения анализа жизненного цикла денежной цивилизации, понимания и прогнозирования современного трансформационного этапа как предпосылки нарастания очередной цивилизационной революции, важнейшее значение имеет формирование системы денежного обращения, кодификация классических экономических функций денег:

- мера стоимости;
- средство обмена;
- средство образования сокровищ (позднее – образование капитала);
- мировые деньги.

При докапиталистическом простом товарном производстве деньги служат лишь инструментом обмена. Для превращения денег в капитал (т.е. в стартовый момент развития капитализма) они должны превратиться, по определению К. Маркса [2], в самовозрастающую стоимость. До этого суммы, накопленные за счет извлечения прибавочной стоимости из продукта, производимого трудом наемных работников, извлечением природной ренты или силовой добычи (военной, колониальной и т.д.) капиталом еще не являются. Они становятся таковыми при инвестировании в производство или торговлю, выпуск и продажу продукции с получением прибыли. Это первая фаза самовозрастания капитала. Ее возможности ограничиваются нормой прибыли в промышленности и торговле, а следовательно, капитал не может возрастать помимо этих сфер. Следовательно, капитал недостаточно служит высшей функции денежной цивилизации – достижению власти, мирового господства. Настоящий капитализм начинается с наделения капитала способностью самовозрастания помимо реального производства. Поэтому представляется целесообразным элиминировать финансовую составляющую развития денежной цивилизации на протяжении ее жизненного цикла из истории тысячелетия X–XX вв. (со всеми ее промышленными, социальными и научными революциями), рассматривая ее как цепь локальных денежных революций, в совокупности представляющих собой перманентную цивилизационную революцию.

Нормы Ветхого завета были абсолютными и не содержали двойных стандартов. За использование ссудного процента казнили любого на протяжении почти пятисот лет. Аналогично жесткие нормы действовали и в некоторых других религиях – мусульманству, индуизму, буддизму.

Поэтому в литературе развитие современного капитализма прослеживается с эпохи крестовых походов XI–XII вв., когда произошло накопление будущего первоначального капитала банковского сообщества и рост объемов средиземноморской морской торговли. Начиная с XI в. развернулась последовательность событий перманентной денежной революции.

Начиная уже с X–XI вв. в Венеции, Генуе, Флоренции постепенно смягчались запреты для христиан на занятия ростовщичеством. Уже в XIV в. возникли многочисленные банкирские дома. В результате спекуляции константинопольскими реликвиями образовались первые крупные финансовые капиталы. Первый этап денежной революции – легализация ростовщической деятельности – растянулся надолго. Только начиная с XVI в. произошла ее полная легализация под наименованием «банковской деятельности».

Вторым этапом денежной революции стала легализация частичного резервирования пассивных операций банков, связанных с выдачей обязательств. Обязательства банков перед клиентами, размещающими средства на депозитах, оказываются больше имеющихся в наличии у банка ликвидных активов. Теперь в совокупной денежной массе развитых стран на ликвидные средства приходится не более 10%, остальное – депозитные деньги. Частичное резервирование приводит к асимметрии кредитных и депозитных операций банков. Асимметрия, позволяя извлекать дополнительную прибыль по сравнению с кредитными операциями за счет собственных средств, создает риск неустойчивости банков. До настоящего времени частичное резервирование не запрещено и лишь иногда ограничивается нормативом (не более 15–20%). Таким образом, банк может извлекать двойную прибыль как за счет ссудного процента, так и за использования депозитных средств. Именно второй этап денежной революции обозначил противоречие интересов производственного и финансового капиталов. Значимость промышленного капитала стала снижаться уже в XIX в. с проявлениями признаков деиндустриализации. К началу XX в. конкурентное преимущество банковского капитала перед промышленным, выраженное более высокой рентабельностью, стало фактом. В начале XX в. австриец

Р. Гильфердинг [6] считал неизбежным противостояние между промышленным и банковским капиталом. Финансистам удалось сравнительно быстро подчинить себе предприятия реального сектора экономики, превратить их в объект биржевой торговли, получать не только ссудный процент, но и часть прибавочной стоимости, создаваемой в сфере производства.

Именно это стало сущностью третьего этапа «денежной революции» – создания ценных бумаг и фондовой биржи. В XVII в. возникают акционерные общества, первоначально для операций в колониях (Британская, Ост-Индская, 1600 г.), банки акционерного типа (Банк Англии, 1694 г.). Первая фондовая биржа возникает в Амстердаме в 1611 г. Во второй половине XX в. для организации эмиссии и размещения ценных бумаг возникают специализированные инвестиционные банки, действующие на рынке ценных бумаг по поручению и за счет клиентов либо за собственный счет. Они активно устанавливают контроль над предприятиями разных отраслей через владение пакетами акций, строительство холдингов и т.д. и спекулируют на вторичных рынках ценных бумаг, создавая уже третью прослойку фиктивных денежных средств.

Четвертый этап денежной революции – создание центральных банков – обусловлено стремлением наиболее влиятельных лидеров денежной цивилизации из числа собственников крупнейших банков монополизировать в своих руках выпуск законных платежных средств и получать от этого эмиссионный доход. Они стремятся контролировать все денежное предложение и тем самым координировать деятельность банков. Центральные банки защищают интересы банковского сообщества посредством

- контроля за деятельностью коммерческих банков;
- регулирования их ликвидности;
- организации рынка межбанковских кредитов;
- предотвращения и преодоления банковских кризисов.

Для этого центральные банки стремятся к концентрации мирового богатства как основы для увеличения предложения кредитов путем увеличения спроса на них и поддержания инфляционных процессов как способа скрытого налогового обложения. В контексте этих целей центральные банки крупнейших государств, развитых стран Запада, в настоящее время регулирующие основную часть предложения денег на мировом рынке – Банк Англии, Французский Королевский банк, Федеральная резервная система США, учреждались в организационно-правовой форме частных акционерных обществ, получавших следующие привилегии:

- быть монопольным эмитентом бумажных, а впоследствии и электронных денег;
- иметь право частичного резервирования своих обязательств;
- сделать основным «резервом» банка долговые расписки правительства (treasures).

Этот подход полностью реализован центральными банками всех развитых стран, ставших, по сути, независимыми от их правительств наднациональными структурами. Тем самым создан четвертый слой самовоспроизводимых денежных средств.

Пятым этапом денежной революции стала ротация золотого стандарта – вначале установление, а затем постепенного его упразднения. Золотой стандарт был введен в Англии в начале XIX в. в интересах банкиров накопить большие запасы золота или контролировать его добычу. Банкноты свободно обменивались на золотые монеты, которые были объявлены единственными полноценными деньгами. Такая система вызывала постоянный спрос на золото, кредиты выдавались золотом, при этом за обмен начислялся процент, а над заемщиком устанавливался контроль. В XIX в. европейские государства сопротивлялись переходу на золотой стандарт, но эта борьба окончилась их поражением: к концу века все страны, кроме Мексики и Китая перешли на золотой стандарт.

Однако после первой Мировой войны тактика финансового капитала резко изменилась, а в 1930-х годах золотой стандарт был аннулирован во всех странах. Тем самым было ликвидировано резервирование денежной эмиссии центральных банков. Преобразование золотого стандарта в золотодолларовый произошло на Бреттон-Вудской конференции 1944 г., когда США пообещали другим странам обменивать доллары США на золото из запасов своего казначейства. Доллар из национального платежного средства превратился в мировую резервную валюту. На смену Бреттон-Вудской системе пришла Ямайская. Деньги утратили связь с физическим миром товаров, открылась возможность полной виртуализации экономики. Тем самым традиционный промышленный капитализм преобразовался в финансовый. Идеологией денежной цивилизации стал монетаризм, основы которого были заложены еще в начале XX в. Ирвином Фишером и Милтоном Фридманом [7]. Подход монетаристов отличался от кейнсианского вмешательства государства в хозяйственную жизнь тем, что вместо компенсации недостатка платежеспособного спроса в обществе путем прямых бюджетных расходов, монетаристы предложили предоставлять деньги на возвратной и платной основе.

Центральные банки должны кредитовать коммерческие банки под определенный процент. Предложение денег в экономике должно регулироваться посредством процентных ставок по кредитам. Поскольку монетаристы считают главной угрозой инфляцию и дефляцию, то при инфляции следует тормозить предложение и сокращать денежную массу, а при дефляции – наоборот, увеличивать объемы кредитования, то есть управление экономикой практически полностью переходит к банкам.

Основная задача зрелой денежной цивилизации – развитие спроса на деньги. Применительно к физическим лицам для этого используются инструмен-

ты ипотечных и потребительских кредитов, спрос государства провоцируется военными конфликтами и программами помощи слабо развитым странам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Данилевский Н.Я.* Россия и Европа. – М.: Де Либри, 2015. – 768 с. – (Русские мыслители). – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=477440> (дата обращения: 27.07.2020). – Текст: электронный
2. Капитал: критика политической экономии: сочинение Карла Маркса, изданное под редакцией Фридриха Энгельса/Пер. с фр. Ф. Кенэ и с англ. М. А. Бунятина – П. Н. Ключин]. – М.: Эксмо, 2012.
3. *Милтон Фридман.* Капитализм и свобода. – М.: Фонд Либер. миссия: Новое изд-во, 2006.
4. *Катасонов В. Ю.* Капитализм. История и идеология «денежной цивилизации» / Науч. редактор О.А. Платонов. – М.: Институт русской цивилизации, 2013.
5. *Тойнби А. Дж., Хантингтон С. Ф.* Вызовы и ответы. Как гибнут цивилизации – М.: Алгоритм, 2016.
6. *Р. Гильфердинг.* Финансовый капитал. Новейшая фаза капитализма в развитии/Пер. с нем. И. И. Скворцова-Степанова. – Изд. 7-е. – М.: Кн.Дом «ЛИБРОКОМ», 2011.
7. *Фридмен М.* Количественная теория денег. – М.: Эльф-пресс, 1996.
8. *Шпенглер О.* Закат Западного мира. – М.: Альфа-книга, 2014. ■

Наиболее приоритетным направлением развития, согласно программе развития судостроения на 2013–2030 гг., является обеспечение эффективной эксплуатации Северного морского пути. Решение такой задачи требует в первую очередь строительства большого количества высокотехнологичных судов. Также еще одним направлением становится содействие техническому перевооружению ведущих организаций отрасли в соответствии с мировым уровнем технологического развития.

Для снижения показателей трудоемкости и цикла строительства судов необходимо решение задач, связанных с обеспечением точности при изготовлении и монтаже судовых корпусных конструкций различных параметров, а также корпуса судна в целом, технологических мероприятий по переносу работ на ранние стадии формирования корпуса в виде крупных блоков.

Исключительно важную роль при постройке судна играют корпусные виды производства, включающие корпусообрабатывающее, сборочно-сварочное и корпусостроительное производство. На их долю приходится в среднем около 40% трудоемкости работ по постройке судна. Продолжительность пребывания судна на стапеле определяется в основном длительностью цикла формирования его корпуса, которая составляет 80–95% всего стапельного периода [1]. Технический уровень корпусостроительного производства зависит от состояния развития техники и технологии постройки корпусов судов, объема внедрения прогрессивной технологии и средств технологического оснащения (СТО) на конкретном предприятии.

Анализ вариантов технологических схем постройки судов различных типов показал, что на критические пути сетевых графиков выходят работы по формированию корпуса судна, монтажные, по оборудованию и отделке помещений и некоторые другие. Это позволяет сле-

датель вывод, что для улучшения технико-экономических показателей постройки судов важное значение приобретает перенос части работы с судна в цеховые условия. В первую очередь такой перенос можно осуществить за счет строительства крупногабаритными конструктивно и технологически законченными сборочными единицами с насыщением системами и оборудованием точно в размер и их сборкой на сборочной площадке.

Этот принцип должен осуществляться за счет реализации важнейших направлений технического развития отрасли, к которым относятся [1]:

1) широкое освоение блочно-модульных методов проектирования и строительства судов;

2) автоматизация проектирования и технологического обеспечения постройки судов на базе освоения интегрированной системы автоматизации технологического обеспечения постройки судов;

3) комплексная механизация с переходом к автоматизации корпусообрабатывающего и трубозаготовительного производств и производств по изготовлению судовых корпусных конструкций, элементов судового оборудования и систем;

4) принципиально новые технологические и организационные решения по корпусостроительному и механомонтажному производствам, а также по отделке и оборудованию судов. Эти решения должны способствовать реализации прогрессивных блочно-модульных методов строительства судов и механизации

производственных процессов при монтаже судовых конструкций на стапеле.

Использование блоков предполагает поточно-позиционные формы организации постройки судов. В связи с этим несомненный интерес представляют достижения в области совершенствования поточно-позиционной постройки судов, главным образом в части технологической подготовки производства. Поточно-позиционная постройка судов требует тщательной подготовки производства на основе специально разработанного комплекта организационно-технологического проекта.

В основу разработки этих проектов должны быть положены общие принципы, представленные в [2]. С учетом данных принципов в [4] описаны варианты развития мощностей ведущих предприятий отрасли в России.

Также ранее уже рассматривался вариант модернизации АО «Адмиралтейские верфи» для строительства крупными блоками [3]. Тогда анализ состояния предприятия позволил выявить отдельные факторы, отрицательно влияющие на эффективность производства, среди которых отмечались сильный и моральный износ зданий, а также невозможность разместить новое оборудование; генплан предприятия не позволяет обеспечить непрерывность прямооточности и ритмичность грузопотоков материалов; дублирование производственных мощностей центральной и южной площадок. В результате факторические и расчетные показатели сро-

ков и трудоемкости строительства судов превышали аналогичные показатели ведущих зарубежных верфей.

Были рассмотрены два принципиальных варианта: техническое перевооружение существующих производств без нового строительства и радикальная реконструкция предприятия.

Проработка варианта *первооружения существующих мощностей* показала возможность относительного улучшения показателей работы предприятия, но не организации крупноблочного строительства судов.

При радикальной реконструкции предприятия наиболее рациональным по технико-экономическим показателям был определен вариант с сохранением наклонных стапелей и созданием в примыкающей к ним зоне нового комплекса корпусообработывающего, сборочно-сварочного, корпусостроительного и механомонтажного производств и оснащением стапелей козловым краном грузоподъемностью 800 т.

В качестве основного принципа формирования на построечном месте корпусов судов расчетной программы принимался танкер дедвейтом 74 000 т с методом сборки из блок-секций массой до 800 т. Реализация этих решений должна была обеспечить: сокращение сроков постройки танкеров дедвейтом 74 000 т до 6 месяцев, танкеров дедвейтом 47 400 т – до 4 месяцев; увеличение спусковой готовности судов до 95% по массе и 90% по трудоемкости; снижение трудоемкости постройки судов по корпусным и механомонтажным работам в 3 раза по сравнению с существующим состоянием; уменьшение трудозатрат на обработку 1 т металла со 120 до 30 чел./ч, сокращение продолжительности строительства танкера дедвейтом 47 000 т – с 19 до 7–8 месяцев.

На сегодняшний день корпуса строятся на продольных наклонных стапелях, при этом используется листовой металлопрокат максимальными размерами 10×2,4 м. Максимальными габаритными размерами построенного на предприятии судна являются: длина – 260 м; ширина – 34 м; спусковой вес судна – 70 000 т; максимальный вес укрупненной секции – 190 т.

Проанализировав существующие условия строительства, а также ранее представленные варианты модернизации, рассмотрим мероприятия для перехода к строительству крупными насыщенными блоками с учетом возможной кооперации с другими предприятиями. Предусматривается строительство современной сборочной площадки без останковки предприятия и с существенно меньшими затратами, чем создание новых крытых комплексов, сухого дока или модернизации стапелей.

Для реализации современного технологического процесса строительства кораблей и судов методом крупнонасыщенных блоков, достройки судов на плаву, а также принципа строительства «распределенной верфью» можно рассмотреть вариант технического перевооружения корпусообработывающего производства, а также предложить проект строительства сборочной площадки и реконструкции достроечной набережной.

Для перехода на современную технологию обработки листов необходимо внедрение нового оборудования в корпусообработывающем цехе, которое позволит предприятию перейти к использованию в технологических процессах листового проката длиной 12 м и шириной 3,2 м и, как следствие, уменьшить трудоемкость корпусообработывающего цеха примерно на 15%, а также стапельных работ примерно на 10%.

Новое оборудование термической резки листового и профильного проката должно обеспечивать:

- повышение точности резки металла;
- снятие фасок под сварку;
- повышение удобства работы;
- снижение потерь рабочего времени;
- уменьшение времени, затрачиваемого на ремонт и техническое обслуживание;
- повышение безопасности.

Используя данные нормативов [8], можно посчитать эффект от снижения трудоемкости. При годовой программе строительства 4 судов эффект составит:

- по корпусообработывающему производству:*
- плановая трудоемкость – $38900 \times 4 = 155570$ нормо/ч,
 - снижение трудоемкости – $155570 \times 0,15 = 23336$ нормо/ч,
 - эффект от снижения трудоемкости в рублях при стоимости нормо-часа 750 руб. – $23336 \times 750 = 17502000$ руб.;

по стапельным работам:

- плановая трудоемкость – $94300 \times 4 = 377200$ нормо/ч,
- снижение трудоемкости – $377800 \times 0,10 = 37720$ нормо/ч,
- эффект от снижения трудоемкости в рублях при стоимости нормо-часа 750 руб. – $37720 \times 750 = 28290000$ руб.

Проект реконструкции производства для строительства крупных блоков включает в себя: создание специализированного горизонтального построечного места – сборочной площадки, а также реконструкция глубоководной достроечной набережной и ее модернизация для возможности вывода тяжелых сверхгабаритных конструкций и горизонтальной погрузки на специальные полупогружные суда или платформы.

Объекты, подлежащие модернизации:

- глубоководная достроечная набережная, предназначенная для достройки судов на плаву, проведения швартовых испытаний, перегрузки и монтажа/демонтажа инженерного и технологического оборудования на строящиеся и ремонтируемые суда, перегрузка блоков и секций со стапельной площадки через передаточный участок набережной;
- площадка для стапельной сборки, предназначенная для сборки укрупненных блоков и секций для строящихся судов с высокой степенью насыщения из элементов предварительной цеховой сборки и комплектного оборудования;
- ацетиленовая станция с разрядной рампой для обеспечения достроечного и стапельного производства.

На *первом этапе* предусматривается реконструкция глубоководной достроечной набережной, которая подразумевает строительство искусственного земельного участка или гидротехнического сооружения 36×19 м с устройством передаточного участка длиной 50 пог. м для перегрузки на полупогружные платформы блоков и секций с площадки для стапельной сборки, продление набережной за счет демонтажа части земельного участка и зданий, а также строительство площадки для стапельной сборки 226×56 м. Длина подкрановых путей составляет 290 пог. м. Площадку надо снабдить двумя козловыми кранами грузоподъемностью не менее 300 т и высотой подъема не менее 50 м, а также самоходными большегрузными модульными транспортировщиками типа «Cometto», «Kamag» или «Scheuerle» до 1000 т либо гусеничным краном, например, «Liebherr LR» 1600 т.

На *втором этапе* предусматривается продолжение реконструкции набережной с заменой подкрановых путей длиной 278 пог. м и монтажом дополнительного порталного крана.

Максимальные расчетные характеристики блоков, изготавливаемых на данной площадке, а также габариты расчетного достраиваемого судна и перегрузочного понтона, представлены в табл. 1.

Таблица

Характеристики блоков и судна

Объект	L×B×T, м	Масса/дедвейт, т
Модуль/ блок	48×43×40	4700
Перегрузочный понтон	93,2×27,4×7,8	10 000
Достраиваемое судно	255×40×9,5	70 000

Эскиз данных мероприятий смоделирован в программе SketchUp и представлен на рис. 1–3.

Примером реализации данных мероприятий может служить строитель-

ство в настоящий момент в Китае блоков завода СПГ, представленный на рис. 4.

В результате перехода на технологии с использованием листового проката размерами 3,2×12,0 м, применением модульно-блочного метода и формированием корпуса и переноса работ по монтажу труб и механизмов с наклонного стапеля на сборочную площадку и в цеха трудоемкость строительства до спуска в соответствии с принятыми коэффициентами по [1,5] снизится примерно на 23%. Результаты сокращения трудоемкости по видам работ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели снижения трудоемкости, тыс. чел.-ч

Виды работ	Было	Стало	Разница	Разница, %
Обработка деталей корпуса	38,9	33,1	5,8	15
Предварительная сборка	103,0	92,7	10,3	10
Формирование корпуса	94,3	66,8	27,5	29
Трубомонтажные	97,7	70,6	27,1	28
Механомонтажные	60,9	42,4	18,5	30
Σ	394,8	305,6	89,2	23

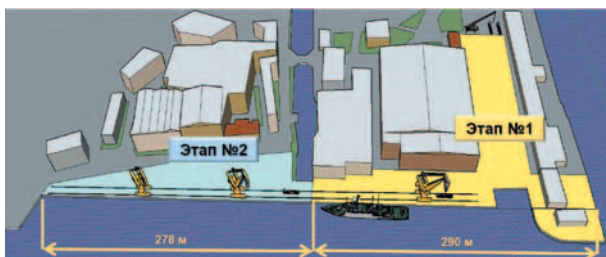


Рис. 1. Схема строительства блоков до реализации мероприятий по реконструкции

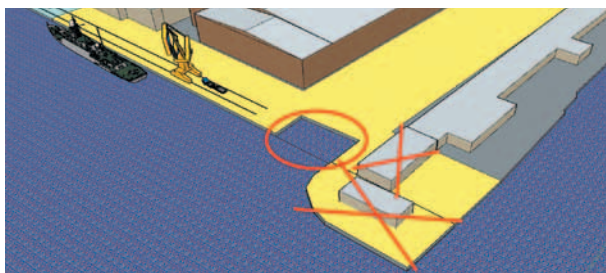


Рис. 2. Объекты, подлежащие строительству и демонтажу



Рис. 3. Схема строительства блоков после реализации мероприятий по реконструкции



Рис. 4. Пример погрузки и перевозки блоков завода СПГ в Китае

Данные мероприятия по модернизации дают возможность трансформировать строительство в соответствии с мировыми тенденциями для укрупнения изготавливаемых секций блоков и внедрения модульного принципа компоновки корпуса, что, в свою очередь, позволит повысить точность механомонтажных и сборочно-сварочных работ на всех стадиях судостроительного производства и добиться снижения трудоемкости работ, сокращения сроков постройки, а также обеспечить производство крупноблочных конструкций в рамках реализации принципа строительства «распределенной верфью».

Таким образом, можно сформулировать основной принцип: «суда не строить, а собирать» (собирать из унифицированных, насыщенных и более крупных сборочных единиц). Результатом реализации данных мероприятий может служить привлечение крупнотоннажных и крупногабаритных заказов, например, танкеров класса Aframax, модулей завода СПГ и других крупных проектов, а также повышение доли отечественных судов на внутреннем и мировом рынках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адлерштейн Л.Ц., Бавыкин Г.В., Васильев А.Л., Воеводский А.С., Дурмашкин С.Ш. Куперштейн В.И., Мильто А.А., Нечаев Г.М., Розинев А.Я., Соколов В.Ф., Шенинг З.Р. Модульная постройка судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 320 с.
2. Александров В.Л., Перельгин А.В., Соколов В.Ф. Судостроительное предприятие в условиях рынка: проблемы адаптации и развития. – СПб.: Судостроение, 2003. – 423 с.
3. Александров В.Л. Концепция развития ФГУП «Адмиралтейские верфи» до 2010 года // Судостроение. – 2004 – № 756 (5). – С. 88–92.
4. Алешкин А.Н. Перспективы развития производственных мощностей судостроительной промышленности // Вестник технологии судостроения и судоремонта. – 2013 – № 21. – С. 3–9.
5. Логунов В.В. Повышение технической эффективности процесса сборки монтажных соединений путем сокращения непроизводительных трудозатрат // Вестник технологии судостроения и судоремонта. – 2010. – № 18. – С. 62–66.
6. Левшаков В.М., Васильев А.А., Маслова Н.П. Возможности снижения затрат на модернизацию корпусных видов производств судостроительных предприятий // Вестник технологии судостроения и судоремонта. – 2013. – № 21. – С. 33–38.
7. Медведев В.А., Ремнен М.С. Перспективные организационно-технологические решения повышения эффективности корпусостроительного производства // Вестник технологии судостроения и судоремонта. – 2013. – № 21. – С. 66–71.
8. РД5Р. ГКЛИ.3520–035–2014. Типовые нормативы трудоемкости постройки рефрижераторов и рыбопромысловых судов. ■

АО «КБ «Вымпел», входящее в состав Группы компаний АО «ОСК», – одно из головных гражданских судостроительных конструкторских бюро в стране, имеющее богатый опыт проектирования технически сложных проектов широкого спектра. Ежегодно по нашим проектам строятся десятки кораблей и судов по всей стране. КБ не может остановить свою деятельность буквально ни на минуту. И потому к возможной угрозе коронавирусной пандемии весь руководящий состав подошел с максимальной серьезностью и ответственностью, ведь самым главным активом нашего КБ являются люди, образованные, творчески нацеленные специалисты, имеющие большой опыт и желание работать в отечественном судостроении.

Уже с начала марта стало понятно, что ограничения на передвижение граждан будут, и будут серьезными. А потому единственной возможностью обеспечить процессы проектирования, строительства и сдачи кораблей и судов с минимальным риском для здоровья людей будет удаленная работа инженерного состава, которую необходимо запустить, максимально сохранив производственные мощности КБ. Эта задача и была поставлена перед ИТ-службой предприятия.

План действий по организации удаленной работы КБ был разработан и принят в середине марта. Ключевыми положениями плана стали обеспечение защищенного удаленного подключения и пропускной способности сети, оперативной связи и управления производственным процессом.

Хотелось бы отметить, что нам очень помогла проводимая в КБ работа

РАБОТА АО «КБ «ВЫМПЕЛ» В УСЛОВИЯХ РЕЖИМА ПОВЫШЕННОЙ ГОТОВНОСТИ

*Д.А. Баханский, гл. конструктор САПР АО КБ «Вымпел»,
контакт. контакт. тел. +7 (831) 412 4532*

по модернизации и импортозамещению программного обеспечения, в результате которой в течение 2017–2019 гг. были модернизированы WEB приложения собственной разработки: Система планирования с подсистемой персональных производственных заданий и Электронный архив, а также были приобретены и развернуты новые отечественные системы: DLP система «SearchInform» и коммуникационная система «CommuniGate Pro». Благодаря этим работам вопросы обеспечения безопасности, контроля действий пользователей, управления и выполнения производственных заданий были нам предельно понятны и практически реализованы (рис. 1 и рис. 2).

Первым этапом плана стал сбор данных, проведение ключевых тестовых экспериментов по определению возможности работы и нагрузок на сеть и разработки организационно-распорядительной документации. Производственные подразделения КБ провели опрос и собрали данные от всех сотрудников о наличии домашнего интернета и его характеристиках, актуализации контактной информации, а также в целом о возможности удаленной работы. Служба ИТ актуализировала данные об используемом программном обеспечении в привязке к текущим и пер-

спективным работам. Было определено несколько рабочих мест, в том числе рабочее место администратора отдела ИТ, удаленная деятельность на которых признана невозможной. Проведены тестовые эксперименты по удаленному подключению и работе через VPN соединению, определены первоочередные работы по дооборудованию и модернизации программ и систем. Завершился этап внеочередной проверки систем авторизации и обеспечения информационной безопасности и определением нагрузок на сеть.

Самым серьезным вопросом на этой стадии стала организация удаленной совместной работы пользователей со специализированной судостроительной системой трехмерного автоматизированного проектирования иностранной разработки, очень требовательной к качеству и пропускной способности сетевого подключения. Для его решения производственные подразделения определили перечень сотрудников, для работы которых доступ к данной системе необходим. Мы проработали вопрос об организации сменной работы сотрудников с системой трехмерного САПР. Первый этап плана был практически реализован.

25 марта Президент Российской Федерации объявил о начале периода

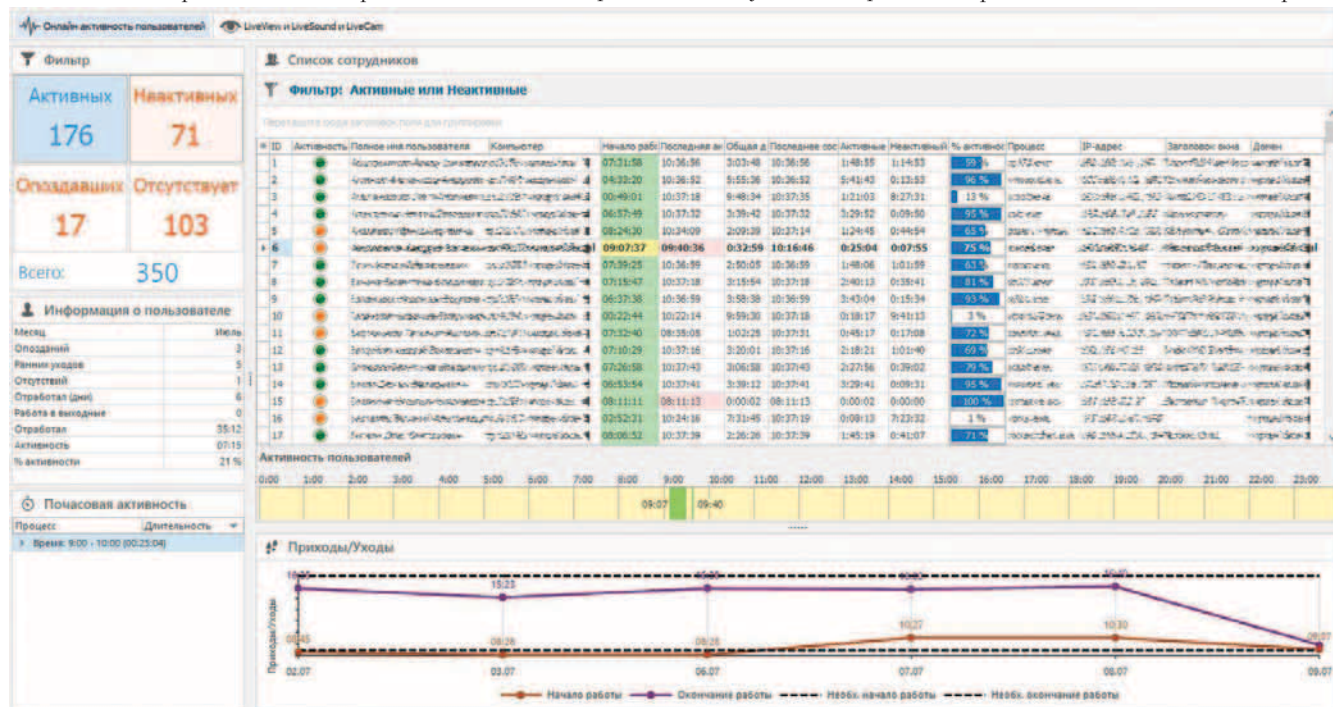


Рис. 1. Контроль активности сотрудников

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

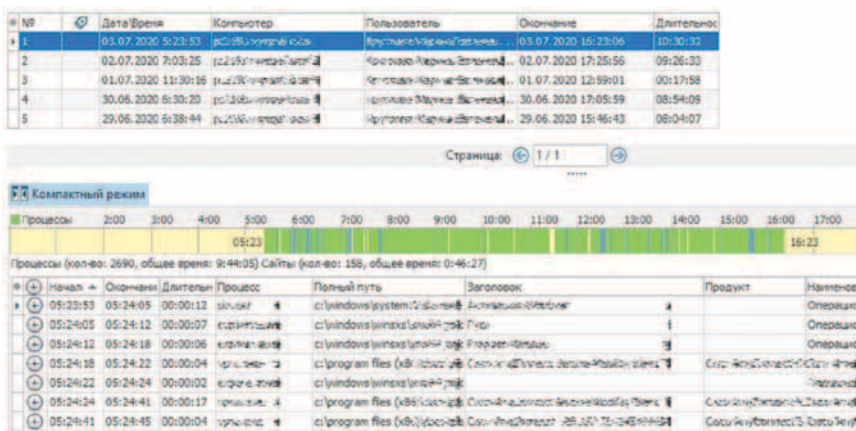


Рис. 2. Контроль работы пользователя

нерабочих дней, так фактически начался старт второго этапа – передачи сотрудника КБ вычислительной техники. Более 300 персональных компьютеров следовало выдать инженерному составу КБ, переходящему на удаленную работу: провести инструктаж пользователя, осмотр, проверку и внеплановое ТО компьютера, обеспечить кабелем для подключения к домашнему роутеру. Одновременно была повышена на порядок пропускная способность интернет-соединения организации и приобретено дополнительное количество лицензий на удаленное подключение. На втором этапе нам очень сильно помогли трудовой коллектив КБ, десятилетиями сформированные традиции. Опытные пользователи помогали новичкам, молодежь – пожилым сотрудникам. Люди помогали друг другу перевести оборудование домой, подключали его, объясняли те или иные требования и правила своим коллегам. Коллектив объединился для решения поставленной задачи. И в первых числах апреля КБ «Вымпел» перешло на режим удаленной работы. Начался третий этап плана – техническое сопровождение удаленной работы.

На данном этапе реализации сразу обозначились проблемы: во-первых, недостаточные скорость и функциональные возможности системы обмена быстрыми сообщениями. Группа IT в течение трех дней нашла и установила новое программное обеспечение для решения этого вопроса, позволившее значительно сократить время и увеличить качество общения пользователей. И это наш главный опыт удаленной работы – быстрая и качественная связь. Хотя, как не автоматизируй процесс общения, при личном контакте рабочие вопросы решаются все же быстрее и с большим результатом для дела. И чем сложнее и ответственнее проект, тем большее значение имеют время его выполнения и результат удаленной работы.

Во-вторых – техническое сопровождение пользователей. В первый момент люди, растерявшись, зачастую не могли корректно сформулировать свои

проблемы – что не работает, почему программа не дает пользователю ожидаемого результата. Но пришел опыт, появились стандартные решения, новые инструкции, и проблема достаточно быстро была решена. Считаю, что нам повезло – отказа аппаратной части у пользователей в первые два месяца удаленной работы не было.

В-третьих, как и ожидалось, проявилось недостаточное качество интернет-соединения у пользователей, что особенно сильно сказывалось на удаленной работе с системой судостроительного трехмерного проектирования иностранной разработки. Здесь пришлось оперативно менять производственные задания и вводить сменную работу для пользователей. Надеюсь, что перспективная отечественная система трехмерного проектирования для судостроения будет менее требовательна к связи и более адаптирована к возможной удаленной работе.

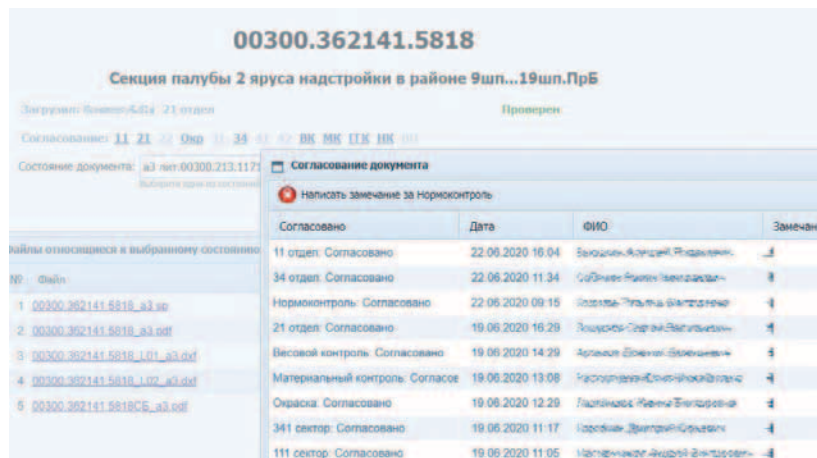


Рис. 3. Согласование конструкторской документации

Последним по порядку возникновения, но одним из первых по значимости стала проблема организации согласования конструкторской документации в электронном виде. Мы столкнулись с острой необходимостью наладить процесс электронного согласования, максимально автоматизированный, с минимальными затратами рабочего времени пользователей. В на-

чале работы была еще раз рассмотрена последовательность этапов согласования документации, определены обязательные точки ее согласования (весовой контроль, материальный контроль, главный конструктор и т. п.) и точки, доступные для выбора (производственные подразделения и отделы) в зависимости от типа конструкторского документа. Определены правила и дополнительные условия согласования различных видов документов и их изменений. Например, для отдельных групп документов статус «согласовано» после проверки спецификации в части заказа оборудования и материалов остается неизменным, если изменена только графика (чертеж); документ считается согласованным руководителем и всем подразделением. После этого в системе Электронный архив были созданы механизмы определения согласующих лиц и хранения истории согласования с их замечаниями и комментариями. Для максимального ускорения процессов был создан механизм рассылки персональных уведомлений в системе обмена быстрыми сообщениями. Для удобства контроля и управления были созданы дополнительные инструменты для всевозможных выборок и справок по состоянию документации и процессу согласования (рис. 3). В настоящее время данное направление работы по автоматизации производственного процесса является ключевым для группы IT. Мы практически подошли к реализации полностью безбумажной технологии производства.

Таким образом, конструкторское бюро с численностью сотрудников около 400 человек смогло в сжатые сроки организовать удаленную работу, успешно решить все поставленные жизнью задачи. Не всё получилось сделать быстро, не всё можно решить сразу, но коронавирус ясно показал нам, куда и как надо двигаться. И я уверен, что для нашего КБ нет неразрешимых задач! ■

Для достижения и поддержания конкурентоспособности современного машиностроительного предприятия на должном уровне необходимы постановка и выполнение множества организационных, экономических, технологических и прочих задач. На сегодняшний день одним из наиболее значимых решений является автоматизация технологической подготовки производства. Для того чтобы отвечать требованиям рынка, предприятия полагаются прежде всего на компьютерные технологии и, естественно, отслеживают основные тенденции в этой сфере. К одной из таких тенденций можно отнести применение интегрированных CAD- и PDM-систем [1].

Любое обсуждение виртуализации должно начинаться с объяснения, для чего оно нужно. Не так давно экономисты признали экономическую ценность информации, как и других видов ресурсов. Однако ясного объяснения этого не всегда можно найти. Многие считают, что «цифровое производство» является целью само по себе, правда, должно быть лучшее объяснение, чем это.

Виртуализация производства стимулирует возникновение бережливого мышления, т. е. минимизации использования физических ресурсов. Делается это при помощи информации об изделии, использовании ресурсов для его изготовления: времени, энергии и материалов с целью минимизации суммы затраченных ресурсов, превышение которых выше необходимого минимума по определению – потери.

В технологической практике встречается множество примеров пустой траты ресурсов: перепроектирование оснастки, доработка, подгонка деталей при сборке, перевыпуск технологических процессов, управляющих программ на станки с числовым программным управлением (рис. 1). Время, энергия и материал – измеряемые величины, правда, имеющие различные единицы измерения. Однако мы можем привести все виды ресурсов к единой величине – рублю.

Информацию измерить сложнее, но известно, что необходимы денежные затраты на формирование, передачу информации и управление ею, т. е. на анализ, обработку данных, компьютерное и серверное оборудование, заработную плату инженеров-проектировщиков.

Верхняя часть левой диаграммы на рис. 1 представляет затраты на ресурсы, которые используются сверх минимума (нижняя часть), затраченные на проектирование и тестирование детали только для того, чтобы определить, отвечает ли она поставленной задаче и существует ли необходимость в ее перепроектировании.

Верхняя часть правой диаграммы характеризует стоимость технической

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ САД- И PDM-СИСТЕМ В РАМКАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Д.А. Ведерников, менеджер проекта ООО «Пумори-северо-запад», аспирант СПбПУ Петра Великого, контакт. тел. + 7 (950) 472 5483

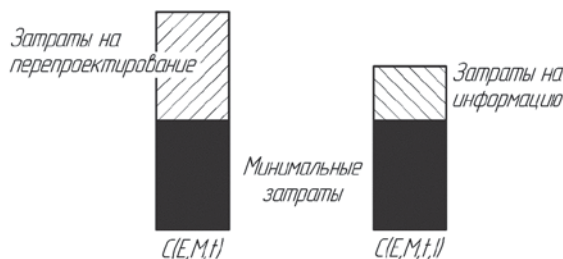


Рис. 1. Необходимые затраты времени, энергии и материалов для удовлетворения функциональных требований к проектируемой детали

информации и производственного моделирования, которое должно подтвердить, удовлетворяет ли данное решение выдвинутые требования.

Стоимость информации меньше, чем стоимость напрасно потраченного времени, энергии и материала (см. верхние части диаграм). При решении простых задач затраты на информацию могут оказаться выше, чем затраты на проектирование «на глаз» либо затраты на виртуальное производство или решение сложных и повторяемых задач.

Для того чтобы затраты на проектирование виртуального производства принесли экономический успех, необходимо, чтобы сумма затрат на информацию была меньше суммы затрат на энергию, материалы и время:

$$\Sigma C(x) < \Sigma C(Tw, Ew, Mw),$$

где $C(x)$ – стоимость ресурса для задачи, x – I -я информация, Tw – напрасно потраченное время, Ew – потраченная впустую энергия, Mw – потраченный впустую материал.

Внедрение информационных технологий подразумевает применение определенной методики. Необходимо определиться с количеством затрачиваемых средств на программное обеспечение и с задачами, решаемыми с помощью подобных систем [2].

Для достижения результатов использовалась следующая методика: в качестве САД-системы применялась Siemens NX, а в качестве PDM-системы – Teamcenter. Подобная связка позволила вместо традиционных двухмерных операционных карт применить трехмерные операционные модели, оснастку и оборудование представить в качестве трехмерных сборочных моделей.

Для оценки эффективности рассмотренной методики применялся тестовый технологический процесс, состоящий из шести операций, в котором в качестве заготовки использовалась отливка. Две операции выполнялись на универсальных станках, три – на станках с числовым программным управлением и одна на координатно-измерительной машине.

В результате время на разработку заготовки увеличилось на 10%, однако время на проектирование последующих операций сократилось на 15–25% каждая. Разработка специального приспособления заняла на 38% меньше времени, чем при традиционном подходе, а выпуск и верификация управляющих программ сократились на 41%.

В заключение можно добавить, что виртуализация производства имеет комплексный подход. Применение рассмотренной методики позволяет сократить значительное количество ресурсов при разработке технологических процессов для сложных деталей. Однако чрезмерное увлечение цифровыми технологиями приводит к повышенной сложности внедрения на производстве и обучения специалистов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолаев А. М., Тарасов М. В., Конейкин И. Н. Имитационное моделирование процесса механической обработки деталей на оборудовании с ЧПУ в локальной среде и в единой информационной среде. – Мат-лы конференции «Системы управления авиационным предприятием», 2014.
2. Ведерников Д. А., Туктамышев В. Р., Катаев Я. А. Анализ эффективности внедрения систем PLM. – Мат-лы конференции «Молодой инженер – основа научно-технологического прогресса», 2015. ■

В соответствии с Приказом министра судостроительной промышленности СССР от 22 июля 1970 г. № 389, согласованным с Государственным комитетом Совета Министров СССР по науке и технике, в Ленинграде на базе ЦКБ «Пролетарского завода» был организован Центральный научно-исследовательский и проектный институт судового машиностроения, а также создано научно-производственное объединение судового машиностроения с подчинением его 3 Главному управлению Минсудпрома. Этим же приказом ЦНИИ судового машиностроения (тогда – ЦНИИ «Компас») был назначен головным предприятием объединения.

Основная цель образования института, переименованного в 1996 г. в ЗАО «ЦНИИ судового машиностроения» (ЗАО «ЦНИИ СМ»), состояла в организации научно-исследовательской базы по разработке современных судовых машин и механизмов и сокращения цикла их создания для нужд Министерства обороны и Военно-Морского Флота РФ.

В настоящее время ЗАО «ЦНИИ СМ» – ведущая организация России по созданию судовых машин и механизмов, устройств и комплексов специальной техники судового машиностроения, применяемых на всех кораблях и судах Российского флота и поставляемых во многие страны мира.

В сферу деятельности института входят научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки, авторский надзор, техническое сопровождение изготовления и участие в испытаниях опытных и серийных образцов разрабатываемых изделий.

За 50-летний период творческой деятельности коллектива ЦНИИ СМ было выполнено много НИОКР, спроектировано и создано большое количество машин, механизмов, устройств и комплексов специальной техники судового машиностроения, в ряде случаев не имеющих аналогов в отечественной и зарубежной практике, обладающих высокой конкурентоспособностью и поэтому востребованных зарубежными заказчиками.

Изготовителем большинства изделий, разработанных ЦНИИ СМ, являлся Пролетарский завод.

Такие организационные мероприятия были вызваны необходимостью развития современного, технически оснащенного флота на базе широкомасштабных научно-технических исследований.

Создание новых технических средств для снабжения кораблей ВМФ сухими и жидкими грузами в районах несения боевой службы – одна из первых проблем, которой начал заниматься ЦНИИ СМ в начале 1970-х гг. в соответствии с Постановлением Совета Министров СССР от

ЦНИИ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ – 50 ЛЕТ НА СЛУЖБЕ ОТЕЧЕСТВУ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ МЕХАНИЗМОВ, УСТРОЙСТВ И КОМПЛЕКСОВ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ ДЛЯ РОССИЙСКОГО СУДОСТРОЕНИЯ И ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

М.А. Александров, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, директор,

Ю.Л. Бородин, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, гл. конструктор;

А.В. Никитин, гл. конструктор;

*Д.А. Скороходов, д-р. техн. наук, проф., ученый секретарь, АО «Центральный научно-исследовательский институт судового машиностроения»,
контакт. тел. (812) 6401051*

31 июля 1969 г. Решением ВМФ и Минсудпрома на ЦНИИ были возложены обязанности головной и базовой организации по проектированию устройств передачи грузов в открытом море.

Для проведения перегрузочных операций наиболее прогрессивным способом является траверзный, который характеризуется высокой эффективностью и позволяет одновременно снабжать несколько кораблей сухими и жидкими грузами при качке на морском волнении до 5 баллов включительно. При передаче грузов в море траверзным способом судно снабжения и принимающий корабль следуют параллельными курсами с одинаковой скоростью хода, соблюдая при этом установленную дистанцию, исключая контакт кораблей. Отличительной особенностью судовых канатных дорог (СКД), используемых при траверзном способе передачи грузов, является подвижность точек подвеса, обусловленная качкой судов на морском волнении. В процессе качки оба судна или, конкретнее, две их харак-

терные точки (точки подвеса) совершают сложные колебательные движения, носящие случайный характер внешнего возбуждения из-за нерегулярности морского волнения.

В этих условиях необходимо создавать и поддерживать практически постоянное натяжение канатов, а также обеспечивать заданное движение грузовой тележки (для устройств передачи сухих грузов) относительно передающих и принимающих мачт.

Опытные комплекты этих устройств – «Струна-В-4,0-1000» (для передачи сухих грузов массой 4 т и жидких грузов пропускной способностью 1000 т/ч), «Струна П-4,0» (для приема сухих грузов) и «Струна П-1000» (для приема жидких грузов) были изготовлены на Пролетарском заводе в 1972–1974 гг., установлены на морском танкере «Днестр», БПК «Адмирал Макаров» в 1974 г. и успешно прошли ходовые и межведомственные испытания. В этот же период проведены динамические исследования в натуральных условиях.



Рис. 1. Устройство передачи сухих и жидких грузов в море на ходу траверзным способом

За решение данной проблемы в 1976 г. институту была присуждена Государственная премия СССР. Общий вид опытного устройства передачи жидких и сухих грузов представлен на рис. 1.

С учетом опыта создания вышеуказанных устройств этот вид получил дальнейшее развитие и совершенствование и был востребован зарубежными заказчиками (ВМС КНР и Индии).

Другая проблема, которую надо было решить, – это разработка и создание взлетно-посадочных средств для авианосцев. ЦНИИ СМ во второй половине 1970-х гг. было поручено разработать, а Пролетарскому заводу изготовить взлетно-посадочный комплекс (ВПК), состоящий из катапульты, аэрофинишеров и аварийного барьера для первого отечественного авианесущего крейсера.

Взлетно-посадочные средства авианосцев должны обеспечивать взлет летательного аппарата корабельного (ЛАК) со скоростью до 300 км/ч при длине разбега около 100 м и их торможение при скорости посадки до 240 км/ч на пути до 90 м.

Создание таких устройств потребовало также решения целого ряда технических проблем, так как параметры механизмов ВПК были экстремальными для судового машиностроения: давление в гидроцилиндрах аэрофинишера достигало 1000 кгс/см², а в гидротормозе катапульты – 3000 кгс/см², скорости поршней парового двигателя – 90 м/с, гидравлических уплотнений – 10 м/с, скорость выбирания троса лебедки ворот – 12 м/с.

В связи с высокими требованиями к надежности оборудования ВПК остро встал вопрос о проведении его всесторонней отработки и испытаний до поставки на корабль. Конструктивные элементы катапульты, аэрофинишера и аварийного барьера были отработаны на экспериментальных установках и действующих масштабных моделях. Опытные и серийные образцы устройств ВПК отрабатывались на полигоне.

Изготовленные Пролетарским заводом аэрофинишеры и аварийный барьер позволили оснастить посадочный блок первого российского авианесущего крейсера с самолетами горизонтальной посадки «Адмирал Флота Советского Союза Кузнецов» современным оборудованием, а проведенные работы по катапульте позволят в перспективе оснастить авианесущие корабли средствами катапультирования самолетов. Аэрофинишер посадочных комплексов показан на рис. 2. Благодаря накопленному опыту ЦНИИ СМ разработал, а Пролетарский завод изготовил блок аэрофинишеров для полигона в г. Ейск.



Рис. 2. Аэрофинишер

Начиная с 1960-х гг. XX столетия и по настоящее время наблюдается интенсивное развитие глубоководных технических средств как у нас в стране, так и за рубежом. Проблемами, связанными с их созданием, заняты все ведущие страны мира: США, Германия, Япония, Великобритания, Франция и др. Активно над решением проблемы в области робототехнических систем ЦНИИ СМ начал заниматься с мая 1971 г., когда были получены технические задания на создание погружных манипуляторных устройств для ряда проектов обитаемых глубоководных аппаратов.

Манипуляторное устройство должно выполнять следующие рабочие операции (рис. 3):

- по ограничению движения – операции со свободными объектами и объектами, имеющими физические связи (открывание люков, сверление отверстий и нарезание в них резьбы);
- по исполнительному воздействию – захватывание, удержание, придание

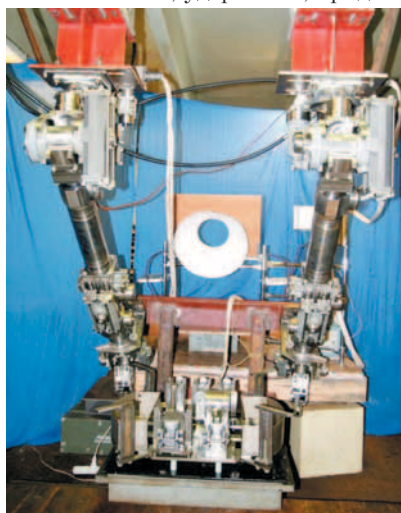


Рис. 3. Манипуляторное устройство

формы, измерение;

- по точности исполнительного воздействия – грубое, точное и силовое манипулирование.

Первоначальные исследования показали, что манипуляционная система глубоководных технических средств должна иметь следующие основные части: механическую, измерительную и информационную системы. При этом следует отметить, что невозможно обеспечить работоспособность манипуляторного устройства при отсутствии какой-либо одной из них. За уникальные научные разработки, достижение высоких результатов и успешную эксплуатацию манипуляторных изделий в 1995 г. институту была присуждена Государственная премия РФ.

В настоящее время в институте сложилась школа специалистов, работающих над созданием робототехнических манипуляционных систем в приложении к глубоководным техническим средствам. ЦНИИ СМ и ПАО «Пролетарский завод» располагают заделом и потенциалом для разработки и изготовления этих изделий.

По этому направлению ведутся работы, связанные с изготовлением опытного образца, разработанного ранее, уникального погружного бурового комплекса, предназначенного для размещения на подводном носителе с целью геологоразведочных работ на грунте Мирового океана при глубине до нескольких километров.

Кроме того, в кратчайшие сроки была разработана и освоена в серийном производстве широкая номенклатура конкурентоспособных изделий судового машиностроения для строительства современных кораблей ВМФ и судов гражданского флота различных классов и назначений.

Сегодня ЗАО «ЦНИИ СМ» представляет собой современный научно-исследовательский центр, который выполняет весь цикл создания изделий судового машиностроения – от исследования до разработки конструкторской документации, участвует в их испытаниях, а также обеспечивают гарантийное и сервисное обслуживание созданного оборудования, находящегося в эксплуатации. Практически на всех отечественных судах установлены изделия нашего предприятия.

Необходимо особо отметить решение целого ряда таких наукоемких работ по проектированию и испытанию таких изделий и устройств, как:

- посадочный комплекс самолетов на авианесущий крейсер, состоящий из аэрофинишера. Была создана методика измерения параметров посадочного комплекса, определены основные характеристики входящих в него отдельных устройств, разработаны и исследованы математические модели и проведены натурные испытания аэрофинишера, оптимизирована его структура и размещение на объекте;
- устройство передачи сухих и жидких грузов на ходу;
- оборудование подводного бурового комплекса;
- судовые палубные краны грузоподъемностью 16, 80, 20, 10, 25 т;
- кран «Атлант» грузоподъемностью 12,5 т;
- кран грузоподъемностью 2 т;
- кран-манипулятор для подводных аппаратов;
- манипуляторное устройство для подводных работ;
- электрогидравлические рулевые машины 3-го поколения с расширенным диапазоном крутящих моментов до 4000 кН·м;
- успокоители качки;
- лебедки различного назначения;
- шпильки;
- краны мостовые судовые с электрическим приводом для подъемно-транспортных работ в машинных отделениях грузоподъемностью от 3,2 до 10 т;
- комплект электрогидравлических механизмов для устройства транспортировки корабельных вертолетов и привода ворот;
- спуско-подъемные устройства для гидроакустических комплексов типа «Минотавр» и 6П-02;
- обратноосмотическая опреснительная установка производительностью 20 м³/сут и другие устройства водоподготовки; бактерицидная установка БАКТ-3 для обеззараживания пресной воды методом ультрафиолетового облучения, получившая диплом на Международной выставке в Брюсселе;
- блоки фильтров;

• аксиально-поршневые гидромоторы и насосы для гидравлических приводов судовых механизмов;

- гидроаппаратура;
- машины гидравлические поворотные;
- приборы управления;
- электродвигатели асинхронные;
- распределители электромагнитные.

ЗАО «ЦНИИ СМ» имеет лицензии на разработку изделий судового машиностроения военного и гражданского назначения; сертификаты соответствия систем менеджмента качества на гражданскую и военную технику.

Проблема создания буксируемых систем радиосвязи, а также судовых устройств постановки-выборки этих систем всегда актуальна для ВМФ, так как боевые возможности кораблей в значительной степени определяются их радиосвязью (прием-передача) с руководством флотов и соединений. В конце 1960-х гг. ЦКБ Пролетарского завода было поручено проектирование и создание новых специальных лебедок для вытравливаемых буксируемых устройств радиосвязи (ВБУРС) типа «Параван» и «Ласточка». Для устройства «Параван» были разработаны лебедки ЛЭС-35 (большое число модификаций), а для устройства «Ласточка» – лебедки типа ЛЭС-48. Для нового поколения подводных лодок в конце 1970-х – начале 1980 гг. ЦНИИ СМ разработал специальные лебедки: ЛЭС-48-1 и ЛЭС-48-1М для ВБУРС «Моряна» и ЛЭС-55 и ЛЭС-55-1 для ВБУРС «Залом».

В 1983 г. была разработана рабочая конструкторская документация (РКД) на исполнительный механизм, предназначенный для работы в составе носителя «Лазурь», который изготавливался на заводе «Красное Сормово». Исполнительный механизм обеспечивал травление, выбиение и удержание каната с заданными усилиями и скоростями. Начиная с 1984 г. до настоящего времени Пролетарский завод изготовил и поставил более 40 таких исполнительных механизмов по документации ЗАО «ЦНИИ СМ».

Одним из сложнейших устройств, разработкой которого в начале 1970 гг. начал заниматься ЦНИИ СМ, было устройство постановки-выборки (УПВ) протяженных буксируемых гидроакустических систем для атомных подводных лодок (АПЛ). В 1972 г. разработан и изготовлен первый опытный образец «Руза-П». Это устройство было установлено и испытано на заказе 627А. Затем последовала разработка и создание устройств УПВ и УПВ-1 для ГАК «Скат» и УПВ-1-3 для ГАК «Скат-3», предназначенных для размещения в гондоле на заказах 671РТМ, 945 и 971. Пролетарский завод изготовил и поставил около 50

этих устройств. Для заказов разработки ЦКБ МТ «Рубин» была создана лебедка ЛЭС-П2 с погружным электродвигателем для ГАС «Пелагида». Пролетарский завод изготовил и поставил около 40 таких механизмов.

Кроме того, были разработаны и созданы гидравлические специальные лебедки для подводных лодок нового поколения: ЛГС-42 для заказов «Лада», ЛГС-39-2 для заказов «Борей», ЛГС-38 для заказов «Ясень».

В связи с конверсией оборонных отраслей промышленности в начале 1990-х гг. разработано и создано много устройств для Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК) по замене импортного оборудования в технологическом цикле производства, в том числе:

- двухскоростные электрические тали грузоподъемностью 5 и 10 т;
- консольный кран грузоподъемностью 5 т с электроталью;
- грузоподъемные клещевые устройства грузоподъемностью 16 и 50 т;
- подвесное устройство с кольцевыми захватами грузоподъемностью 10 т;
- грейферы объемом 1 м³ грузоподъемностью 2,8 т с автономным погружным гидроприводом;
- машины для маркировки заготовок в горячем и холодном состоянии;
- комплекты пультов и щитов управления для мостовых кранов;
- насосная станция шлифовального станка;
- гидропривод шахтной печи и многое др.

В период конверсии 1990-х гг. для железных дорог была разработана и создана самоходная установка для ремонта и монтажа контактных проводов. Также был разработан подземный буровой станок с гидроприводом ПБСА-300 для нефтешахтного управления «Яраганефть».

Большой опыт ЗАО «ЦНИИ СМ» накопил, начиная с 1992 г. после выигрыша в конкурсе на разработку и создание спуско-подъемных устройств (СПУ) для гидроакустических комплексов типа «Минотавр» и 6П-02.

СПУ для изделия «Минотавр-М» (СПУ ПБВ-М) для кораблей пр. 20380 и пр. 22350 разработано ЗАО «ЦНИИ СМ», изготовлено и поставлено Пролетарским заводом в начале 2007 г. в АО «Судостроительный завод «Северная верфь». В конце 2011 г. после проведения пуско-наладочных работ и предварительных испытаний это устройство успешно прошло первый этап МВИ на стенде завода-изготовителя и поставлено в ОАО «СЗ «Северная верфь» на головной корабль пр. 22350.

СПУ малогабаритной буксируемой линии 6П-02 (СПУ МБЛ 6П-02) разработано и создано ЦНИИ СМ совместно

с Пролетарским заводом. Опытный образец был изготовлен и поставлен заказчику в начале 2008 г. и установлен на судне ССВ-175 «Виктор Леонов» Северного флота, где прошел второй этап МВИ с положительными результатами.

Разработано СПУ для изделия «Минотавр-ИСПН-М.1» для корабля пр.11442М (зав. №802). В настоящее время корабль пр. 11442М находится на модернизации. В 2015 г. разработан технический проект СПУ, а затем разработано РКД СПУ. На Пролетарском заводе идет изготовление СПУ.

В последнее время по этой тематике специалистами ЗАО «ЦНИИ СМ» разработаны технические предложения по созданию СПУ для буксируемой части изделия «Тритон» корабельного измерительного комплекса (КИК) корабля пр. 18290, а также мобильного СПУ для буксируемой системы ГАС «Минотавр-М» в контейнерном исполнении.

Катастрофы и чрезвычайные ситуации последних лет показали, что сегодня на отечественном флоте практически отсутствуют современные технические средства спасения, а созданные в 1980-е гг. и ранее средства спасения уже вышли из строя. Поэтому в ноябре 2001 г. Правительством РФ было принято решение о создании спасательного судна (СС) пр. 21300 и подготовлен соответствующий государственный контракт на выполнение ОКР для федеральных нужд.

Разработка СС пр. 21300 была поручена ЦМКБ «Алмаз». Одна из основных задач корабля данного проекта – это эвакуация экипажей из терпящих бедствие подводных лодок в подводном и надводном положениях, а также поиск и обследование аварийных объектов. В связи с этим после участия в конкурсе ЗАО «ЦНИИ СМ» получило от ЦМКБ «Алмаз» техническое задание на выполнение ОКР по созданию главного СПУ (ГСПУ-58), обеспечивающего спуск на воду и подъем спасательных глубоководных аппаратов (СГА) двух проектов. С июля 2002 г. по июнь 2005 г. специалистами ЗАО «ЦНИИ СМ» был разработан технический проект ГСПУ-58. 16 ноября 2005 г. проект был утвержден. Технический проект ГСПУ-58 подтвердил возможность создания такого устройства, который представляет собой комплекс, обеспечивающий спуск на воду и подъем на борт спасательного судна глубоководных аппаратов пр. 18270 (18271) и пр. 18550 (18551) с экипажами и спасенными подводниками, а также взятие на подвес и удержание у борта этого судна всплывающих спасательных камер (КСВ). Выполненный проект ГСПУ-58 показал, что данный комплекс устройств с большой грузоподъемностью относится к наиболее слож-

ным из разработанных в ЗАО «ЦНИИ СМ» за последнее время устройств как по составу оборудования, так и по числу выполняемых операций, включая операции слежения за качкой с автоматической системой выбора момента подъема (АСВМП) СГА с вершины волны.

В конце 2006 г. был заключен договор между ЗАО «ЦНИИ СМ» и ФГУП «Адмиралтейские верфи» на ОКР «Разработка РКД и ЭД главного спуско-подъемного устройства ГСПУ-58 для СС пр. 21300». В 2010 г. разработка РКД ГСПУ-58 была закончена.

В итоге за 2005–2019 гг. по разработанным проектам ЗАО «ЦНИИ СМ» изготовлен и поставлен на объекты целый ряд новых изделий судового машиностроения, основными из которых являются:

для оснащения кораблей ВМФ:

- устройство транспортировки вертолета УХПТВ;
- спуско-подъемные устройства для изделия «Минотавр-ИСПН» (для кораблей пр. 20380 и пр. 22350);
- устройство ИКУ-135СНМ (для заказа «Лада»);
- лебедка ЛГС-4-1А, обратнoосмотическая опреснительная установка ПРО-5, кран-манипулятор КМ-1 (для заказа 02668);
- рулевые машины ВР, КГР и НГР, лебедка ЛГС-39-2 (для заказа «Борей»);
- модернизированное устройство УПВ-1-3 (для заказа пр. 971);
- шпиль гидравлический ШГ-28 (для заказа «Калитка-О»);
- кран-балка КБЭВ-1, два крана КЭГ 80019С, лебедки ЛТП-6, ЛБГ-40 и ЛГГ-80 (для заказа 20180);
- гидравлические приборы ЛСУ «Финант-1» (для заказа 210);
- СПУ для МБЛ 6П-02 (для заказа ССВ-175);
- лебедка ЛГС-38 (для заказа 08850);
- ускоитель качки УК-4,5 (для ОАО «СЗ «Северная верфь»);
- кран КЭГ-20031С (для ОАО «Окская судостроительная»);

для оснащения судов гражданского флота:

- блок фильтров грубой очистки забортной воды (для Морской ледовой стационарной платформы (МЛСП) «Приразломная»);
- рулевая машина РГПМ-1 (для ОАО «Средне-Невский судостроительный завод»);
- «Шланг В-250» (для заказа 00120);
- лебедки ЛЯШ-125/300 – 4 шт. (для заказа 91030 ООО «Питер-Газ»);
- кран КЭГ 2013 (для Газпрома);

для экспортных заказов было разработано, изготовлено и поставлено следующее машиностроительное оборудование:

- комплексы устройств УХПТВ (для

заказов пр. 956ЭМ, зав. №№ 891, 892);

- рулевые машины Р-35Э изделия «Светлана-2НИ» (для заказа пр. 11430);
- головной образец шпиля ШГ25-1 (для заказа «Амур-1650»);
- рулевая машина РЭГ8-3МЭ (для заказа пр. 11356).

Деловое и научно-техническое сотрудничество связывает ЗАО «ЦНИИ СМ» со многими предприятиями СНГ и фирмами других стран. Однако на пути развития судового машиностроения имеются весьма серьезные проблемы. Основными из них, влияющими на конкурентоспособность судового комплектующего оборудования (СКО) и развитие судового машиностроения, являются следующие [2]:

- оснащенность производства, реализующего разработанные ЗАО «ЦНИИ СМ» изделия, в значительной степени устаревшим оборудованием с износом порядка 60%, что осложняет освоение современных эффективных технологий;
- отсутствие системно проводимых НИОКР, финансируемых как ранее из госбюджета по перспективным направлениям судового машиностроения, что не способствует его развитию и пагубно сказывается на подготовке профессиональных кадров для судостроительной отрасли, а нехватка специалистов и прежде всего средних и высоких категорий отрицательно влияет на качество создаваемого оборудования и сроки его создания;
- строительство в небольших количествах для ВМФ кораблей также не способствует развeргиванию в должной мере производственных мощностей судового машиностроения, производственная недогрузка которых доходит до 50%. Производство судового машиностроительного оборудования при этом приобретает характер фактически единичного изготовления. Это обстоятельство вызывает неоправданные материальные издержки при его создании, которые приводят к значительному удорожанию, так как все затраты, в том числе на проектные и технологические работы, приводятся к единичному изделию, что в итоге снижает его конкурентоспособность;
- отсутствие возможности изготовления серии новых типов судового машиностроительного оборудования по указанной причине также исключает возможность системного проведения работ по развитию техники перспективного направления и накопления средств на обновление производственных мощностей и освоение новых эффективных технологий;
- только около 6% общего объема заказов на строительство гражданских судов для российских судоводных компаний приходится на долю отечественных верфей. Этот фактор также отрицательно

сказывается на загрузке производства и развитии судового машиностроения.

Создание наукоемкого современного судового машиностроительного оборудования требует значительно большего времени, чем на строительство судна, корабля, конкурентоспособность которых напрямую зависит от технических характеристик и стоимости этого оборудования. Указанные очевидные проблемы являются главными идеологическими предпосылками для принятия системообразующих мероприятий по развитию судового машиностроения, которое должно играть свою главную роль – обеспечение судовым комплекующим оборудованием строительство отечественных конкурентоспособных, перспективных судов и кораблей.

Важно, что главенствующее значение приобретает острейшая проблема подготовки высококвалифицированных специалистов, которые были бы способны непосредственно в производственных условиях ставить актуальные задачи и участвовать в их решении. Это в полной мере относится как к подготовке молодых специалистов, так и к профессиональному дополнительному обучению, переподготовке и повышению квалификации специалистов.

В ЗАО «ЦНИИ СМ» работают специалисты высшей квалификации, среди которых есть кандидаты технических наук, заслуженные машиностроители РФ, заслуженные конструкторы РФ и целый ряд сотрудников, отмеченных государственными наградами. С целью подготовки инженерных и научных кадров по судовому машиностроению при ЗАО «ЦНИИ СМ» создан филиал кафедры «Технология судового машиностроения» СПбГМТУ, где проходят обучение наши специалисты, поступившие в аспирантуру, а также абитуриенты, изъявившие желание учиться по следующим специальностям: бакалавров техники и технологии по направлению 151901 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», включая профиль «Технология машиностроения»; магистров по специальности 180103 «Проектирование, изготовление и ремонт энергетических установок и систем автоматизации кораблей и судов», включая специализацию «Технологическое обеспечение жизненного цикла энергетических комплексов и систем автоматизации кораблей и судов».

В соответствии с протоколом о совместной деятельности предусмотрена организация целевой подготовки из числа наиболее квалифицированных специалистов ЗАО «ЦНИИ СМ» по научным специальностям: 05.02.08 – «Технология машиностроения»; 05.08.04 – «Технология судостроения, судоремонта и

организация судостроительного производства».

Авангардная роль функционально сложившегося научно-производственного комплекса судового машиностроения определяется прежде всего конкурентоспособностью его продукции, зависящей в основном от технического уровня, качества, стоимости и сроков поставки изделий, которое в судостроительной практике принято называть судовым комплекующим оборудованием. К показателям конкурентоспособности относятся:

- уровень профессионализма персонала;
- уровень оснащения современными эффективными средствами проектирования и испытаний изделий судового машиностроения;
- системное проведение НИОКР по развитию основных актуальных направлений судового машиностроения;
- системное обновление современных технологий проектирования и испытаний;
- широкое освоение CALS-технологий при проектировании новых изделий судового машиностроения;
- наличие учебно-производственного центра для подготовки, переподготовки, повышения квалификации персонала предприятия и решения сложных научно-технических проблем.

Системное выполнение работ по рассмотренным направлениям с соответствующим научно-техническим обеспечением создает основополагающие условия для стратегического развития ЗАО «ЦНИИ СМ» в современных рыночных условиях, сохранения и развития его потенциала при проектировании изделий судового машиностроения. Поэтому для обеспечения конкурентоспособности судового машиностроительного оборудования и поддержания его надлежащего уровня необходимо:

1. Создание научно-производственного кластера судового машиностроительного производства с освоением новых эффективных технологий за счет федеральных целевых программ и собственных средств предприятия.

2. Обеспечение предприятия высокопрофессиональными инженерными и научными кадрами за счет ускоренной адаптации к производству студентов СПбГМТУ, прошедших обучение в филиале кафедры при предприятии, подготовки перспективных специалистов для защиты кандидатских диссертаций, проведения ежегодного конкурса работ молодых специалистов.

3. Вести на постоянной системной основе НИОКР по опережающему проектированию перспективного оборудования на базе финансирования как из собственных средств, так и из средств

госбюджета (Федеральные целевые программы). Это проектирование должно заключаться в разработке типовых рядов перспективного оборудования на уровне не ниже технического проекта. При этом их следует разрабатывать, исходя из обозримой ближней и дальней перспективы строительства судов и кораблей и с учетом освоения производством современных эффективных технологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Накопленный опыт выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проектирования, создания и отработки сложных наукоемких устройств и комплексов, например передачи грузов в море на ходу, взлетно-посадочных комплексов, манипуляторов устройств для подводных работ и многих других, а также научно-технический потенциал ЗАО «ЦНИИ СМ» позволяют ему создавать и осваивать производство большого количества современных механизмов, устройств и комплексов изделий судового машиностроения. Многие создаваемые изделия в ряде случаев не имеют отечественных аналогов и не уступают по своим основным показателям иностранным образцам, обладают высокой конкурентоспособностью и поэтому востребованы зарубежными заказчиками.

2. История разработки и производства механизмов, устройств и комплексов машиностроения для судостроения и общего машиностроения (например, для металлургической промышленности в период конверсии оборонных отраслей промышленности) показывает яркие примеры эффективного содружества ЦНИИ СМ и Пролетарского завода по созданию новой техники, т. е. науки и производства. Это содружество необходимо продолжить с учетом накопленных традиций и повышения эффективности развития производства.

3. Многолетнее плодотворное сотрудничество с ЦКБ-проектантами надводных и подводных кораблей, специализированными научно-исследовательскими институтами и специалистами этих предприятий всегда позволяло успешно решать актуальные проблемы создания специальной корабельной техники и способствовало ускорению научно-технического прогресса судостроительной отрасли. Поэтому подобные деловые контакты надо продолжать и развивать, тем более что развитие судового машиностроения на современном научно-техническом уровне зависит от темпов развития ВМФ как одного из важнейших видов вооруженных сил России.

ЗАО «ЦНИИ СМ» за 50-летний период накопил огромный опыт проектирования и создания сложных науко-

емких устройств и имеет высокий научно-технический потенциал, что вселяет уверенность в сохранении его лидерских позиций в сфере создания механизмов, устройств и комплексов судового машиностроения для надводного и подводного кораблестроения, а значит, и в решении задач по укреплению обороноспособности России.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бородин Ю.Л.* Решение проблемы по созданию устройств передачи грузов в море на ходу траверзным способом // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 1995. – Вып.1. – С. 65–70.
2. *Бородин Ю.Л., Дюжев А.К.* Об опыте создания устройств передачи сухих и жидких грузов в море на ходу траверзным и кильватерным способом // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2000. – С. 31–39.
3. *Бородин Ю.Л., Дюжев А.К.* Создание устройства передачи сухих грузов В1-2,0 в море на ходу траверзным способом // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2002. С. 32–39.
4. *Бородин Ю.Л., Вассер Г.Р., Дюжев А.К., Павлов Е.М., Пахомов Д.С.* Создание устройств передачи сухих и жидких грузов траверзным способом для двух судов комплексного снабжения проекта 903 // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2006. – С. 167–171.
5. *Булгаков А.А.* Взлетно-посадочный комплекс авианесущего крейсера // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 1995. – Вып.1. – С. 71–82.
6. *Белоусов В.Н., Никитин А.В.* Исследование и разработка в области теории и методов проектирования приводов судового оборудования // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 1995. – Вып.1. – С. 49–64.
7. *Арутюнян А.А., Суслов Д.В., Завирухо В.Д., Георгиев А.А.* К вопросу повышения технологичности судового комплектующего оборудования // Морской вестник. – 2010. – №3(35). – С. 28–30.
8. *Арутюнян А.А., Суслов Д.В., Завирухо В.Д.* Техническое перевооружение и модернизация производственных мощностей – главное направление развития отечественного судового машиностроения в современных экономических условиях: К 185-летию ОАО «Пролетарский завод» // Морской вестник – 2011. – № 3(39). – С. 35–37.
9. *Александров М.А., Скороходов Д.А.* Анализ методики и алгоритма оценки надежности объекта транспортной системы при произвольных законах распределения // Морской вестник. – 2013. – №4(48). – С.100–102.
10. *Александров М.А., Богданов А.Г., Скороходов Д.А.* Принципы управления состоянием предприятия в режиме самоорганизации системы менеджмента // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. – 2011. – №1(41). – С. 3–8.
11. *Александров М.А., Богданов А.Г., Скороходов Д.А.* Принципы формирования информационных систем контроля качества объектов судового машиностроения // Судостроительная промышленность: Сер. Технология и организация производства. – 2017. – №1(41). – С. 103–111.
12. *Богданов А.Г., Скороходов Д.А., Черненко В.И.* Стратегия развития изделий судового машиностроения // Морской вестник. – 2018. – №2(66). – С. 45–50. ■

Необходимость обеспечения безаварийной эксплуатации отечественных систем ответственного назначения, в том числе турбореактивных или поршневых двигателей внутреннего сгорания, дизелей, а также дизель-генераторных установок, это по-прежнему актуальная задача современного машиностроения в целом и двигателестроения в частности [1–3]. Особенно значимо актуальность данной задачи возросла в последние годы в связи с необходимостью обеспечения высокой конкурентоспособности отечественных машиностроительных изделий на мировых и внутренних рынках в условиях постоянного ужесточения требований к производственным затратам, экологической безопасности, экономичности и надежности.

Компромисс между необходимостью повышения уровня безаварийной эксплуатации сложных технических изделий и снижением затрат на их производство и техническое обслуживание может быть достигнут внедрением на различных этапах жизненного цикла изделий перспективных методов функционально-параметрического прогнозирования опасных состояний [4], построенных на основе новых информационных технологий, реализация которых неразрывно связана с минимизацией мощности множества контролируемых параметров и точек съема информации.

Несмотря на простоту и очевидность предлагаемого подхода, в открытой научно-технической литературе последних лет не так много работ по этому направлению,

К ВОПРОСУ О МИНИМИЗАЦИИ КОМПОНЕНТ ВЕКТОРА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В.В. Новиков, д-р техн. наук, проф.

Черноморского высшего военно-морского училища им. П.С. Нахимова,

К.Н. Осипов, канд. техн. наук,

доцент ФГАОВ ВО «Севастопольский государственный университет»,

контакт. тел. +7(8692) 53 4109

особенно в области минимизации множества диагностических параметров и точек съема информации. Большинство предлагаемых подходов к обеспечению безаварийной эксплуатации, например в [7], тем или иным образом связаны с обеспечением заданного коэффициента готовности путем реализации систем с резервированием. Часть работ посвящена оценке вероятности перехода систем в аварийное состояние на основе цепей Маркова, а также реализации методологии массового обслуживания, предложенной в прошлом столетии Д.Р. Коксом и У.Л. Смитом. Что касается альтернативных работ, связанных с обеспечением безаварийной эксплуатации изделий на основе методов технического обслуживания по фактическому состоянию, то они, к сожалению, все еще находятся на этапе становления и не освещают необходимым образом вопросы выбора наилучшего с точки зрения принятых критериев множества диагностических параметров и точек съема информации.

Цель настоящей работы – разработка методологии минимизации множества диагностических параметров сложных технических систем на примере определения множества диагностических параметров, необходимых для достоверной оценки опасных технических состояний поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Техническое состояние сложных технических систем формируется в процессе изготовления, сборки, а также в ходе выполнения доводочных и контрольно-регулирующих операций. При этом формируемое в ходе реализации производственного процесса техническое состояние объекта не эквивалентно его состоянию как динамической системы. Состояние объекта как динамической системы есть набор переменных состояния (фазовых переменных), полностью определяющих положение объекта как абстрактной динамической системы в некотором абстрактном пространстве в рассматриваемый момент времени, но, тем не менее, не позволяющих установить, правильно или неправильно функционирует объект и исправен ли он. В свою очередь, техническое состояние объекта – это совокупность признаков (структурных параметров), формирующихся в ходе производственного процесса, по которым можно судить о его функциональной пригодности к конкретным условиям эксплуатации.

В процессе диагностирования для определения технического состояния изделий, т.е. для оценки правильности их функционирования, необходимо сопоставить каждый структурный параметр или, используя терминологию теории технических систем, каждую переменную технического состояния объекта с некоторым конкретным допустимым значением, характеризующим уровень работоспособности объекта или вид наблюдаемого дефекта. Только на основании результатов сопоставления всех переменных технического состояния объекта с их априорно заданными значениями можно отнести это состояние к тому или иному виду (классу). Однако на практике из-за того, что прямое измерение структурных параметров на работающем изделии невозможно, так как это связано с его полной или частичной разборкой, их значение определяют косвенно, по результатам измерения диагностических параметров, функционально зависящих от структурных параметров. По этой причине для достоверной оценки технического состояния в реальном времени приемосдаточных и контрольных испытаний, а также в ходе эксплуатации и диагностирования возникает задача отыскания такого наименьшего множества диагностических параметров, которое обеспечило бы принятие достоверных решений о годности испытываемых изделий к условиям будущей эксплуатации с минимальными затратами.

В общем виде поставленная задача может быть решена путем исследования аналитических или качественных причинно-следственных зависимостей, отражающих влияние величин структурных параметров на изменение (приращение) величин диагностических параметров. Однако в эксплуатационных условиях аналитические методы оценки взаимосвязей между структурными и диагностическими параметрами практически не нашли своего применения из-за очень большой сложности, которая объясняется тем, что каждый отдельный диагностический параметр является функцией большого количества переменных состояния. Так, например, в работах [8, 9] показано, что один из наиболее информативных параметров, характеризующих экономичность и работоспособность быстроходных двигателей 4Ч7.5/8.5, численно выраженный в виде среднего эффективного удельного расхода топлива – функция более чем 15 структурных параметров, имеющих различную физическую природу. В этой связи, принимая во внимание отсутствие возможности построения детерминированных

теоретических моделей, описывающих зависимости между структурными и диагностическими параметрами, отечественными учеными, например Е.Л. Первухиной, Г. Черным, В.В. Голиковой, были разработаны графоаналитические методы описания причинно-следственных зависимостей между различными параметрами технических систем.

В общем виде использование графоаналитических методов базируется на построении ориентированных, как правило, двудольных графов с последующим их преобразованием в матричную форму, которая позволяет находить решение задач минимизации множеств диагностических параметров путем реализации нескольких этапов. К основным этапам относят следующие: анализ парной или множественной корреляции Пирсона между диагностическими параметрами для определения параметров с наибольшей корреляционной связью. Существование сильной корреляционной связи является основанием для исключения параметра. Вычисление корреляции между изменением численных значений диагностических параметров в момент времени t с изменением численных значений критериев работоспособности в момент времени $t + \Delta t$. При ранжировании параметров, анализируя их информативность, используют меру информации, например, энтропию Шеннона. Анализ перечисленного перечня операций показал, что оптимальность результата зависит от наличия эксплуатационной практики, большого объема статистической информации и от теоретической подготовленности и даже в некоторых случаях интуиции исследовательского персонала, что ставит под сомнение единственность получаемого решения. Кроме этого, предлагаемые алгоритмы минимизации множества диагностических параметров исключают из рассмотрения случаи потери информации при переходе от одного множества диагностических параметров к другому, имеющему меньшую размерность.

В качестве критерия, качественно характеризующего потерю информации, предлагается рассматривать диагностическую ситуацию, выраженную в наступлении события, при котором диагностические состояния, регистрируемые в одной системе отсчета, большей размерности, не могут быть зарегистрированы в системах отсчета, имеющих меньшую размерность. При этом под термином *размерность системы отсчета* понимается количество независимых переменных (параметров), используемых для описания технического состояния в пространстве состояний.

В этой связи задача дальнейшего совершенствования графоаналитических методов минимизации множества диагностических параметров, обеспечивающих условие единственности решения с минимальной трудоемкостью и минимальной потерей информации, по-прежнему остается актуальной.

Рассмотрим двухполюсный ориентированный граф $G = (X, Y, S)$, описывающий взаимосвязь между структурными и диагностическими параметрами быстроходного поршневого двигателя (рис. 1). Множество вершин графа $G = (X, Y, S)$ состоит из двух непересекающихся подмножеств: $x = \{X_1, X_2, \dots, X_l\}$ – множество структурных параметров; $y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_q\}$ – множество диагностических параметров; $S: x \rightarrow y$ – отображение, определенное правилом: пара вершин $x_i \in X$ и $y_j \in Y$ определяют дугу $(x_i, y_j) \in S$, если между величиной $x_i \in X$ и величиной $y_j \in Y$ существует причинно-следственная связь, оцениваемая величиной взаимной информации или реализацией статистического теста К. Грейнджера на каузальность (причинность); l – количество структурных параметров, q – количество диагностических параметров.

Объединение множества $x = \{X_1, X_2, \dots, X_l\}$ с множеством $y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_q\}$ образует множество параметров D (обозначение вершин см. в таблице). Кроме этого, отношение

между элементами x_i подмножества X и элементами y_j подмножества Y определенное отображением $S: x \rightarrow y$ вводит на множестве D структуру упорядоченности.

В ходе реализации процесса диагностирования, в том числе при работе систем автоматизированной или автоматической самодиагностики, вектор диагностических параметров, формирующийся множеством измеренных значений $y_q = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_q\}$, характеризует ξ_i техническое состояние изделия из конечного множества возможных состояний с плотностью распределения $p_i(y_q)$ при условии, что вектор y_q с заданной, например равновероятной, вероятностью передает ξ_j техническое состояние.

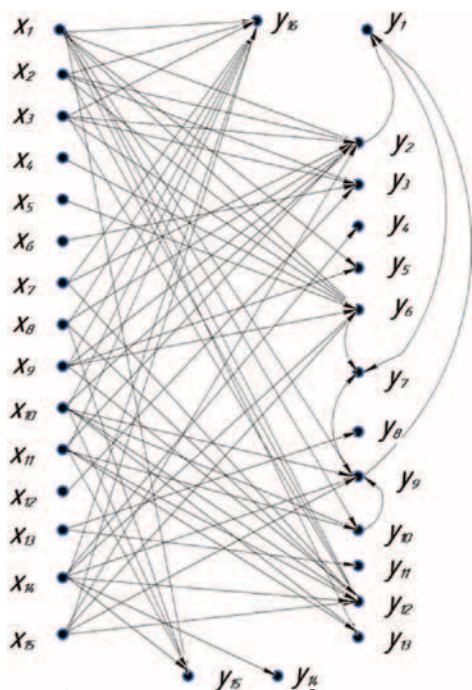


Рис. 1. Граф зависимости между структурными и диагностическими параметрами ДВС

Пусть в качестве критерия отличающего ξ_i техническое состояние с плотностью распределения $p_i(y_q)$ от ξ_j состояния с плотностью распределения $p_j(y_q)$ использован логарифм отношения правдоподобия $\ln\left(\frac{p_i(y_q)}{p_j(y_q)}\right)$. Тогда количественно средняя различающая информация, полученная после наблюдений, для различения текущего технического состояния в пользу ξ_j против состояния ξ_i будет определяться известным выражением, которое называется дивергенцией Кульбака–Лейблера [10]:

$$D(1,2) = \int (p_i(y_q)) \ln\left(\frac{p_i(y_q)}{p_j(y_q)}\right) dy. \quad (4)$$

В общем виде дивергенция Кульбака–Лейблера – это безразмерная величина, определяемая положительным функционалом, являющимся несимметричной условной мерой удаленности друг от друга двух вероятностных распределений. При этом мера Кульбака – условная метрика в понимании этого термина с позиции теории меры и интегрального исчисления, так как функционал (4) не удовлетворяет неравенству треугольника. Тем не менее данная условная мера, или, как это было отмечено в первоисточнике, *направленное расхождение*, обладает несколькими другими уникальными свойствами, позволяющими использовать функционал (4) в качестве критерия близости некоторых вероятностных распределений [11]:

1) направленное расхождение Кульбака–Лейблера всегда неотрицательная величина $D(g, f) > 0$ (т.е. выполняется известное неравенство Гиббса). В частном слу-

чае, когда $g(x) = f(x)$, т.е. когда существует однозначное соответствие между распределениями, величина $D(g, f) = 0$;

- направленное расхождение Кульбака–Лейблера инвариантно к изменениям элементов оцениваемого вектора: любому изменению порядка элементов вектора, масштабированию амплитуды, монотонным нелинейным преобразованиям [10, 11];
- направленное расхождение Кульбака–Лейблера не меньше известного расстояния Хеллингера.

Таблица

Обозначения графа взаимосвязей между параметрами ДВС

Обозначение вершины графа	Расшифровка (наименование)
x_1	Зазор в сопряжении цилиндр поршень
x_2	Зазор в коренном подшипнике к/в
x_3	Зазор в шатунном подшипнике к/в
x_4	Зазор в сопряжении поршневой палец-втулка верхней головки шатуна
x_5	Зазор в сопряжении бобышка поршня – поршневой палец
x_6	Зазор в опорах распределительного вала
x_7	Зазор в сопряжении коромысло – ось коромысел
x_8	Зазор в сопряжении клапан – направляющая втулка клапана
x_9	Зазор в сопряжении высота кольцевых канавок поршней – высота кольца
x_{10}	Зазор между клапаном и седлом клапана
x_{11}	Зазор в приводе клапанов
x_{12}	Жесткость пружины редукционного клапана
x_{13}	Герметичность системы охлаждения
x_{14}	Регулирование состава топливно-воздушной смеси
x_{15}	Регулирование момента зажигания
y_1	Эффективная мощность
y_2	Крутящий момент
y_3	Давление масла
y_4	Содержание CO в отработавших газах
y_5	Содержание CH ₄ в отработавших газах
y_6	Часовой расход топлива
y_7	Удельный расход топлива
y_8	Температура охлаждающей жидкости
y_9	Массовый расход воздуха
y_{10}	Абсолютное давление воздуха во впускной системе
y_{11}	Температура масла
y_{12}	Давление механических потерь
y_{13}	Секундный расход воздуха
y_{14}	Содержание NO _x в отработавших газах
y_{15}	Коэффициент наполнения
y_{16}	Среднее эффективное давление

Используя метод аналогий, нетрудно определить, что средняя различающая информация, полученная после наблюдений, для различения состояния в пользу ξ_j против состояния ξ_i будет определяться

$$D(2,1) = \int (p_j(y_q)) \ln\left(\frac{p_j(y_q)}{p_i(y_q)}\right) dy. \quad (5)$$

Теперь с учетом (4) и (5) введем понятие полной средней различающей информации в виде функционала, который

впервые был сформулирован Джеффрисом, а затем исследован в классической работе Соломона Кульбака [11]:

$$Q(p_i(y), p_j(y)) = \int [p_i(y) - p_j(y)] \ln \frac{p_i(y)}{p_j(y)} dy. \quad (6)$$

Функционал (6) характеризует полную среднюю информацию различия состояний с плотностями распределения $p_i(y)$ и $p_j(y)$.

Пусть вектор диагностических параметров преобразован в вектор $u = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ меньшей размерности $m = q - n$ (n – количество исключенных диагностических параметров) без потери различающей информации используя следующее матричное преобразование

$$u = A \cdot Y_q, \quad (7)$$

где A – несингулярная инвариантная ко времени матрица размером $i \times j$, строками которой являются линейно независимые векторы.

Для вектора $u = f(A, y)$ функционал (6) примет вид

$$Q^*(p_i(u), p_j(u)) = \int_u [p_i(u) - p_j(u)] \ln \frac{p_i(u)}{p_j(u)} du. \quad (8)$$

Очевидно, что при фиксированном значении y_q функционал (8) будет функцией от матричного аргумента A , отображающей пространство $R^m \times R^q$ в пространство R^1 .

Учтя последнее, задача минимизации множества диагностических параметров может быть формализована как задача нахождения значений матричного аргумента A , минимизирующих следующую энергию потери различающей информации:

$$\Delta Q = \frac{1}{2} (Q(p_i(y), p_j(y)) - Q^*(p_i(u), p_j(u)))^2 = I_\varepsilon. \quad (9)$$

В формуле (9) коэффициент $\frac{1}{2}$ введен по аналогии с аналитическим выражением для кинетической энергии механических систем.

Используя свойство функционала, которое заключается в том, что он возвращает скалярное значение, будем считать, что энергия потери различающей информации I_ε является скалярной величиной. Тогда следует, что задача минимизации функции (9) при условии, что первое слагаемое постоянно, равнозначна задаче максимизации второго слагаемого по матричному аргументу A , т.е. минимум квадрата разности между функционалами (6) и (8) достигается при условии, что $Q^*(p_i(u), p_j(u)) \rightarrow Q(p_i(y), p_j(y))$.

При подчинении распределений $p_i(y)$ и $p_i(u)$ нормальному закону распределения случайных величин с математическими ожиданиями m_1 и m_2 , ковариационными матрицами $C_1 = C_2 = C$, используя условие экстремума в виде

$\frac{\partial Q^*(p_i(u), p_j(u))}{\partial A} = 0$, а также матричного дифференцирования, получено следующее выражение:

$$-A(m_1 - m_2)(m_1 - m_2)^T A^T (ACA^T)^{-1} AC + A(m_1 - m_2)(m_1 - m_2)^T A^T = 0. \quad (10)$$

Если принять, что $A^T = a$, то выражение (10) может быть преобразовано в следующую форму:

$$[C^{-1}(m_1 - m_2)(m_1 - m_2)^T] a = \left[(a^T(m_1 - m_2)(m_1 - m_2)^T a^T) (a^T C a)^{-1} \right] a, \quad (11)$$

где a – собственный вектор матрицы $C^{-1}(m_1 - m_2)(m_1 - m_2)^T$ с характеристическим числом, равным

$$\left[(a^T(m_1 - m_2)(m_1 - m_2)^T a^T) (a^T C a)^{-1} \right].$$

Из выражения (11) следует, что если матрица A^T равна собственному вектору матрицы $C^{-1}(m_1 - m_2)(m_1 - m_2)^T$,

то информационный функционал (9) принимает экстремальное значение.

Реализация предлагаемой процедуры для ранжирования отдельных диагностических параметров, используя в качестве критерия величину, характеризующую потерю различающей информации, позволила установить, что для достоверного определения технического состояния поршневых ДВС достаточно измерять: давление масла, крутящий момент, часовой и удельный расход топлива, температуру охлаждающей жидкости на выходе из рубашки охлаждения, расход или абсолютное давления воздуха во впускном коллекторе непосредственно за дроссельной заслонкой, концентрацию CH_4 и CO в отработавших газах.

Дальнейшие исследования в данной области могут быть связаны с формированием не только достаточного условия, но и необходимого, которое может быть формализовано в виде необходимости выполнения условия обеспечения покрытия множеством параметров $u = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ множества $x = \{X_1, X_2, \dots, X_j\}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамов О.В.* Об оценке вероятности наступления рискованного события: функционально-параметрический подход // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 1. – С. 24–31.
2. *Абрамов О.В.* Контроль и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 4 (24). – С. 108–115. – DOI 10.21685/2307-4205-2018-4-12.
3. *Кушнир М.И., Курушин М.И.* Самоотвинчивание гаек при вибрационном нагружении резьбовых соединений // Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Тр. междунард. науч.-техн. конф., Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева. – 2003. – Изд. Самарского национального исследовательского университета им. акад. С.П. Королева, с. 278 – 286.
4. *Новиков В.В., Новикова М.В.* Прогнозирование опасного состояния сложных технических систем // Военная мысль. – 2017. – №5. – С.50–54.
5. *Абрамов О.В.* К проблеме предотвращения аварий технических объектов ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С.11 – 16.
6. *Клюев В.В., Соснин Ф.Р., Ковалев А.В. и др.* Неразрушающий контроль и диагностика: Справ./ Под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
7. *Хай Н.Ч.* Повышение надежности подъемно-транспортных машин // Изв. ТулГУ: Технические науки. – 2013. – Вып. №11. – С.348 – 352.
8. *Первухина Е.Л., Осипов К.Н., Рапацкий Ю.Л.* Совершенствование методики приемосдаточных испытаний двигателей внутреннего сгорания после сборки на основе зависимостей между диагностическими параметрами // Проблемы машиностроения и надежности машин – 2011. – №2. – С. 93–99.
9. *Осипов К.Н.* Выбор параметров для оценки технического состояния ДВС // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2011. – №2 – С. 19 – 26.
10. *Осипов К.Н., Замоленов М.В.* Минимизация информационного расхождения Кульбака–Лейблера в задачах автоматизированной обработки измерительной информации // Изв. Тульского гос. ун-та: Технические науки. – 2019. – № 3. – С. 195–200.
11. *Первухина Е.Л., Осипов К.Н., Степанченко Т.Л.* Минимизация информационного расхождения Кульбака–Лейблера в задачах адаптивной фильтрации // Вопросы оптимизации вычислений. Тр. междунард. симпозиума, Кацивели, 24 – 29 сентября 2009, – с.183 – 188.
12. *Кульбак С.* Теория информации и статистика. – М.: Наука, 1967. – 408 с. ■

Одно из основных направлений развития предприятия ООО «Винета» – освоение производства изделий из композитных материалов. На предприятии в рамках НИР «Облако» успешно освоено серийное производство устройств очистки воздуха для судовых газотурбинных двигателей (ГТД) и дизельных двигателей (ДГ) со сменными секциями из эпоксидного углепластика и маломерных судов из полиэфирного стеклопластика.

Результатом этих НИР стали проект, а затем и изготовление первой серии устройств очистки воздуха инерционного типа в одноступенчатом исполнении. В конструкции данных изделий были применены как традиционные материалы – легированная сталь для корпуса, так и композитные материалы – эпоксидный углепластик для сменных секций. Сменные секции были изготовлены склеиванием из тонкостенных плоскостных деталей и деталей сложной формы, полученных методом горячего формования на прессе.

Нужно сказать, что с 2016 г. параллельно велась исследовательская работа в ФГУП НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» и ФГУП «Крыловский государственный научный центр» по изучению свойств термопластичного базальтопластика, который предполагалось применить для изготовления сменных секций устройства очистки

ИЗУЧЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

*И.В. Плещенков, вед. инженер-конструктор ООО «Винета»,
контакт. тел. (812) 483 5048, доб. 217, 245, +7(921) 597 7589*

воздуха. Результатом работ стали технические условия на термопластичный базальтопластик. Материал изготавливается горячим формованием из препрегов.

Термопластичный базальтопластик имеет малую анизотропию свойств, при низких температурах ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) не наблюдается ухудшения механических свойств. Он обладает вибростойкостью в диапазоне частот 5–60 Гц и хорошими электроизоляционными и теплоизоляционными свойствами, не провоцирует коррозию металлических деталей, соединенных с ним. Его рабочая температура – до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Материал успешно прошел испытания на определение показателей пожароопасности и отнесен к трудногорючим материалам. Может применяться для изготовле-

ния оборудования, устанавливаемого внутри жилых помещений и на открытой палубе.

При освоении серийного производства изделий из композитных материалов, изготовления тонкостенных разветвленных деталей – лопаток сепаратора – по технологии склеивания из частей выявились ее недостатки. К их числу можно отнести большую долю ручного труда, которая выражается в доводке деталей для склеивания.

Для оптимизации технологии и уменьшения себестоимости при серийном производстве устройств очистки воздуха проводятся работы по изучению возможностей 3D-печати тонкостенных деталей со сложным изогнутым профилем толщиной 2 мм и длиной 500 мм, предпочтительно с ис-

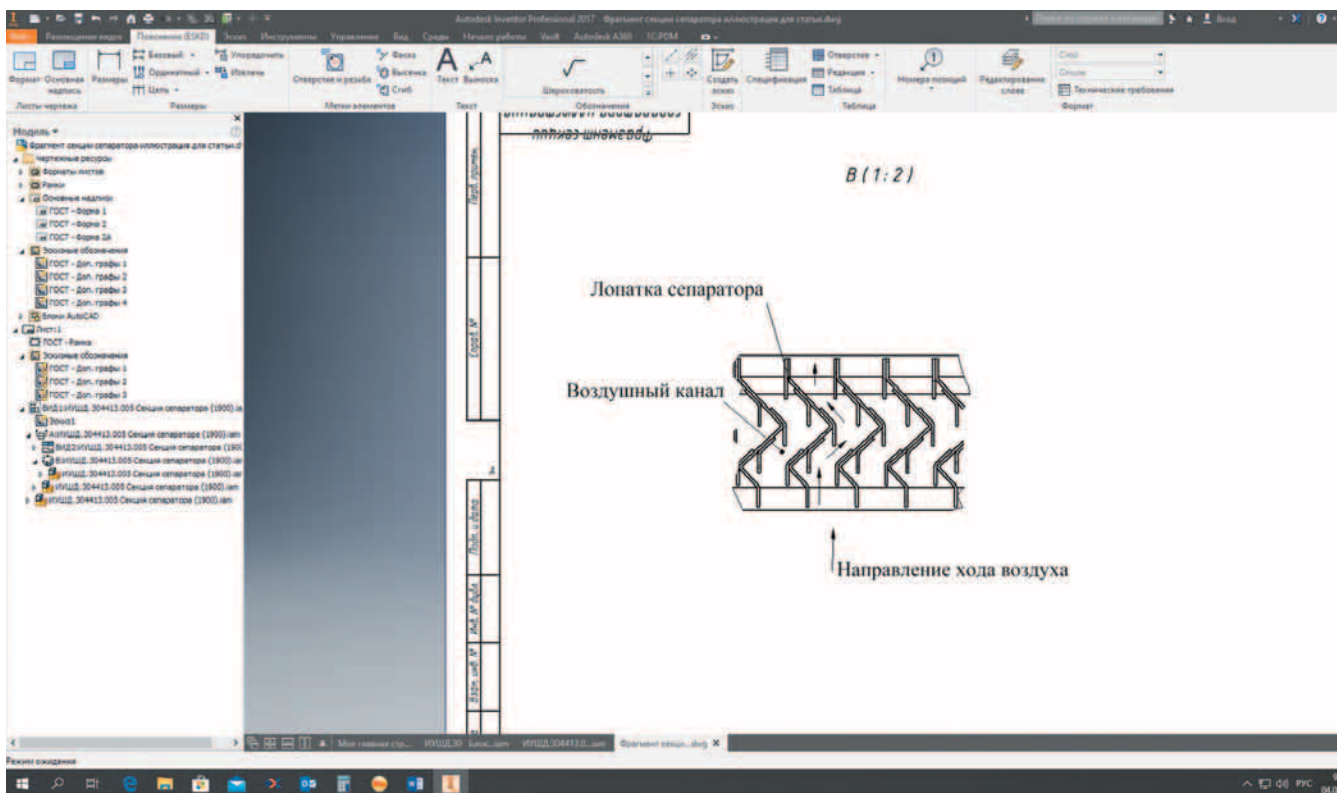


Рис. 1. Схема устройства и работы секции сепаратора

пользованием аналогичных компонентов (полисульфон и базальтовая нить).

Такая деталь в сепараторе воздуха – это лопатка сепаратора – представляет собой тонкостенный изогнутый профиль с отростками. Набор данных профилей с определенным шагом формирует в секции сепаратора крутоизогнутый канал, способствующий отсеву влаги из воздуха при прохождении через него (рис. 1). Секции сепаратора закреплены шипами в пазах стенок каркаса.

Для определения оптимальной схемы армирования при выполнении 3D-печати данной детали в программном комплексе «Ansis Mechanical» выполнен расчет внутренних напряжений, возникающих в лопатке сепаратора при воздействии эксплуатационных нагрузок. Очевидно, что каждая нагрузка в отдельности (от потока воздуха и вибрационная) для композитного материала невелика. Проверки требует комплексное воздействие нагрузок с учетом различия фактических механических свойств слоистого композита и напечатанного дискретными волокнами (ровингом).

Для выполнения расчета за базовую взята скорость потока воздуха 10 м/с, что приводит к возникновению давления на лобовой поверхности лопатки 200 Па. Первая собственная частота лопатки составляет 258 Гц. Таким образом, расчетами подтверждено, что нагрузки от действия воздушного потока и амплитуды при вибрационной нагрузке малы. Максимальные нагрузки испытывают «шипы», крепящие лопатку в каркасе секции. Место сопряжения «шипа» и основного профиля лопатки является концентратором напряжений.

Для проверки прочности наиболее нагруженных участков лопатки сепаратора прикладывалась нагрузка, превышающая эксплуатационную. Амплитуда нагрузки соответствовала ударному воздействию величиной 15g. Полученное напряженное деформированное состояние позволяет оценить наиболее нагруженные участки конструкции и выбрать метод армирования с учетом технологических возможностей 3D-печати.

Результаты расчетов от воздействия ударных нагрузок приведены

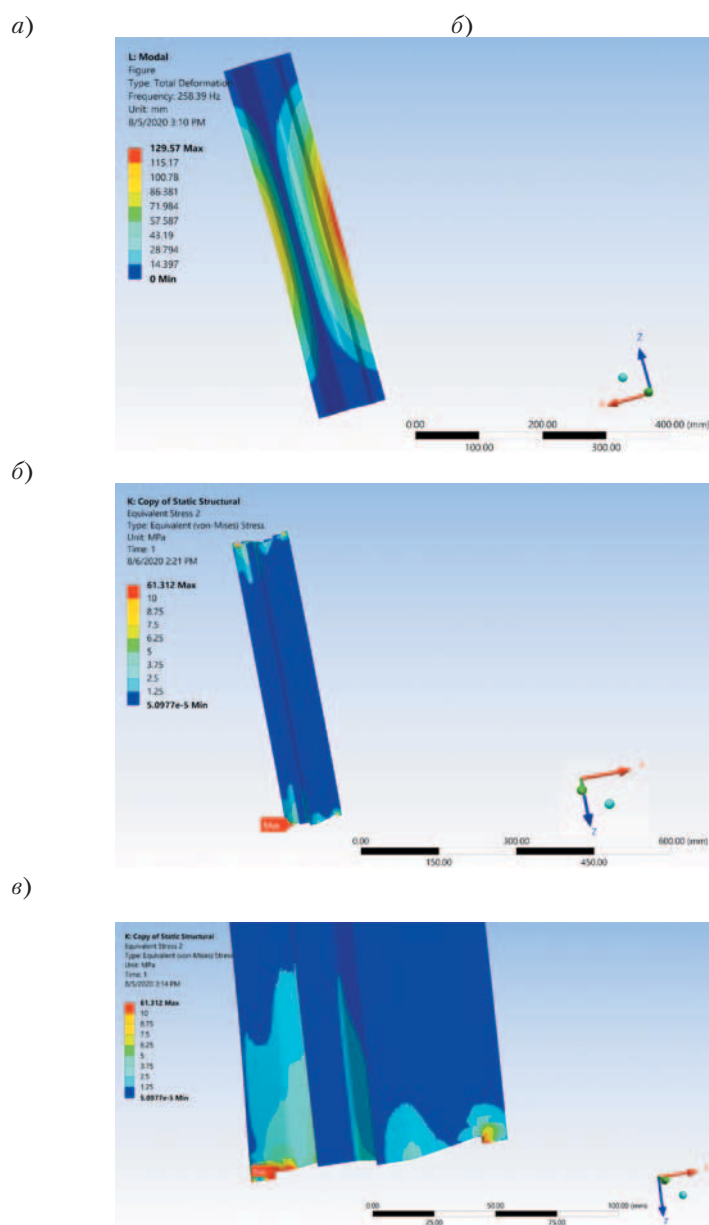


Рис. 2. Результаты расчетов лопатки сепаратора: а – определение собственной частоты колебаний; б – определение нагрузок от действия давления воздушного потока; в – напряжения в концентраторах напряжений при действии ударной нагрузки

на рис. 2. Максимальные напряжения возникают в концентраторе напряжений, что может привести к развитию трещины, но только в случае большого количества нагружений. Такой режим при работе изделия не предусмотрен.

На основании моделирования нагрузок, действующих на лопатку сепаратора, определено, что замена технологии склеивания из частей на технологию 3D-печати вполне возможна

при применении компонентов, аналогичных используемым при изготовлении термопластичного базальтопластика. При этом армирование может быть выполнено ровингом из базальтовой нити. Применение аддитивных технологий позволит значительно сократить время изготовления изделия, повысить его качество при уменьшении стоимости на единицу продукции за счет увеличения коэффициента серийности. ■

Аля современных судов и кораблей созданы эффективные системы электродвижения на основе гребных электрических двигателей (ГЭД) с винторулевой колонкой (ВРК). Они обеспечивают высокую маневренность судов и кораблей в различных режимах движения. В целях более эффективного использования электрооборудования ГЭД с ВРК получают электропитание от единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС). Управление режимами работы ГЭД осуществляется полупроводниковыми преобразователями частоты, применение которых значительно ухудшает качество электроэнергии на общих шинах ЕЭЭС. Основными причинами являются уменьшение коэффициента мощности и появление высших гармоник в потребляемом токе. В результате этого снижается надежность работы потребителей и увеличиваются потери электроэнергии. Поэтому уменьшение указанных негативных последствий является актуальной задачей.

В связи с этим большое внимание уделяется вопросам, связанным с изучением и разработкой различных методов обеспечения качества электроэнергии, увеличения коэффициента мощности и фильтрации высших гармоник. В настоящее время перспективным методом улучшения качества электроэнергии, является применение устройств управления реактивной мощностью и активной фильтрации, т.е. компенсаторов неактивной мощности.

С развитием силовой электроники появилась элементная база для создания такого типа устройств. Современные, быстродействующие, полностью управляемые ключи на транзисторах и запираемых тиристорах, стали основой для разработки силовых активных фильтров-преобразователей для фильтрации. Благодаря их использованию можно существенно повысить качество электроэнергии на судах [1].

Средняя мощность за период, называемый также активным, определяется по формуле

$$P = [p(t)]_{cp} = \frac{1}{T_n} \int_0^{T_n} p(t) dt, \quad (1)$$

где T_n – период повторения.

Предположим, что напряжение синусоидально, а ток несинусоидален. Тогда активная мощность определяется мощностью первой гармоники:

$$P = U I_1 \cos \varphi, \quad (2)$$

где I_1 – действующее значение первой гармоники тока, φ – сдвиг по фазе между первой гармоникой напряжения и первой гармоникой потребляемого тока;

$$I_1 = \nu I, \quad (3)$$

где k_n – коэффициент искажения тока сети (в линейной цепи ток синусоидален и $k_n = 1$).

СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Б.Ф. Дмитриев, *д-р техн. наук, проф.*,
С.Я. Галушин, *канд. техн. наук, доцент*,
А.Н. Калмыков, *канд. техн. наук, доцент*,
Аунг Тху Пхио, *аспирант*,
А.Д. Егорова, *студент, СПбГМТУ*,
контакт. тел. (812) 714 6839

Полная мощность сети:

$$S = UI, \quad (4)$$

где U и I – действующие значения напряжения и тока сети.

С учетом (1), (2), (3) коэффициент мощности получается:

$$K_m = \nu \cos \varphi. \quad (5)$$

Реактивная мощность основной гармоники:

$$Q = U I_1 \sin \varphi. \quad (6)$$

Полная мощность включает активную и неактивные составляющие:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2}. \quad (7)$$

Неактивные составляющие полной мощности Q и T характеризуют колебания энергии между сетью и нагрузкой, при которых не совершается полезная работа, а сеть загружается неактивными составляющими тока.

В трехфазной симметричной сети с линейной или нелинейной симметричной, или несимметричной нагрузкой мгновенная мощность в каждой фазе равна:

$$\begin{aligned} p_A(t) &= u_A(t) \cdot i_A(t); \\ p_B(t) &= u_B(t) \cdot i_B(t); \\ p_C(t) &= u_C(t) \cdot i_C(t). \end{aligned} \quad (8)$$

Суммарная мгновенная мощность $p = p_A + p_B + p_C$. В сети с симметричной нагрузкой пульсации мгновенной мощности отсутствуют.

Полная мощность сети:

$$S = U_A I_A + U_B I_B + U_C I_C. \quad (9)$$

где $U_{A,B,C}$ и $I_{A,B,C}$ – действующие значения напряжения и тока сети.

Активная мощность

$$P = [p(t)]_{cp} = \frac{1}{T_n} \int_0^{T_n} p(t) dt = P_A + P_B + P_C = \quad (10)$$

$$= U_A I_{A1} \cos \varphi_A + U_B I_{B1} \cos \varphi_B + U_C I_{C1} \cos \varphi_C.$$

Анализ показывает, что активную мощность переносит только синфазная напряжению составляющая основной (первой) гармоники прямой последовательности тока, являющаяся активной составляющей тока.

Реактивная мощность сдвига определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} Q &= Q_A + Q_B + Q_C = \\ &= U_A I_{A1} \sin \varphi_A + U_B I_{B1} \sin \varphi_B + U_C I_{C1} \sin \varphi_C. \end{aligned} \quad (11)$$

Полная мощность основной гармоники $S_1 = U(I_{A1} + I_{B1} + I_{C1})$ включает еще одну составляющую – мощность несимметрии N :

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q^2 + N^2}. \quad (12)$$

Мощность несимметрии характеризуют междуфазовый обмен реактивной мощностью при несимметричной нагрузке.

Высшие гармоники тока вызывают появление мощности искажения, так что полная мощность системы состоит из четырех составляющих:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + N^2 + T^2}. \quad (13)$$

Согласно выражению для определения полной мощности, коэффициент мощности может быть увеличен уменьшением составляющих неактивной мощности, включающих реактивную мощность, и мощность искажений, а также мощность несимметрии.

Компенсация реактивной составляющей полной мощности выполняется путем включения реактивного элемента, производящего обратное действие. Например, для компенсации действия электродвигателя переменного тока, обладающего высокой индуктивной составляющей полной мощности, параллельно цепи питания включается конденсатор.

Для компенсации нелинейных искажений требуется схема пассивного или активного корректора коэффициента мощности. Простейшим пассивным корректором коэффициента мощности является дроссель с большой индуктивностью, включенный последовательно с питаемой нагрузкой. Дроссель выполняет сглаживание импульсного потребления нагрузки и выделение основной гармоники потребления тока.

В настоящее время существует много способов компенсации неактивной мощности, которые существенно различаются принципами действия и их реализацией, а также эффективностью при применении в КЭЭС и СЭЭС. Рассмотрим кратко основные из них.

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

К основным устройствам компенсации реактивной мощности относятся: синхронные генераторы, синхронные компенсаторы, статические компенсаторы, конденсаторные батареи, статический синхронный компенсатор

Синхронные генераторы

Синхронные генераторы вырабатывают основную часть электроэнергии, которая поступает к потребителям через системы передачи и распределения. Воздействуя на возбуждения генераторов, можно изменять генерируемое напряжение и таким образом регулировать подачу реактивной мощности в сеть, снижая потери в линиях передачи. Потребляемая из сети реактивная мощность уменьшается, что уменьшает и расходы на компенсацию, но, с другой стороны, увеличивает расходы на содержание и обслуживание синхронных генераторов.

Синхронные компенсаторы

Синхронный компенсатор представляет собой синхронный двигатель облегченной конструкции, который работает без нагрузки, вращаясь синхронно с напряжением в сети и потребляя избыточную реактивную мощность или генерируя недостающую. Эти устройства подключаются в определенных узлах системообразующих и питающих сетей. Использование синхронных компенсаторов в распределительных сетях экономически нецелесообразно из-за высокой начальной стоимости и затрат на техническое обслуживание.

Статические компенсаторы

Успехи силовой электроники дали возможность перейти от синхронных компенсаторов к статическим системам компенсации реактивной мощности, таким как TSC – конденсаторная батарея с тиристорной коммутацией (рис. 1) и TCR – реактор с тиристорным управлением (PTU) (рис. 2). Это электронные варианты электромеханических компенсаторов, в которых, для коммутации применяются пары тиристоров, включенных встречно-параллельно.

TSC позволяет ступенчато регулировать реактивную мощность, которую отдают в сеть конденсаторы, а TCR – плавно регулировать реактивную мощность, которую потребляют реакторы.

Изменением угла α можно регулировать значение тока, протекающего через тиристоры PTU на интервале каждого полупериода. При изменении угла α от 0 до $\pi/2$ в сторону опережения от конца полупериода изменяется величина тока от 0 до $U_m/\omega L$ соответственно. Очевидно, что этот ток будет несинусоидальным и может быть разложен в ряд Фурье. Первая гармоника этого тока

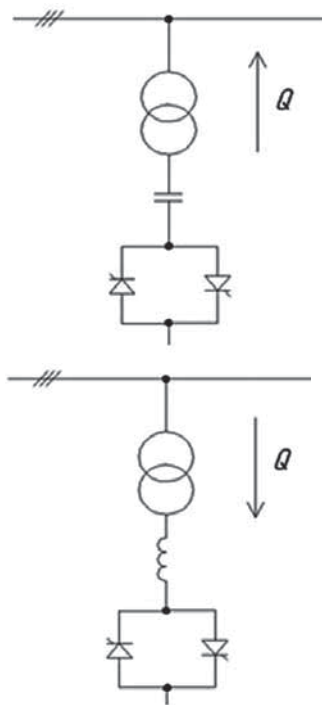


Рис. 1. Структурные схемы статических компенсаторов

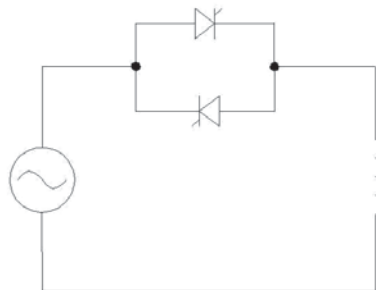


Рис. 2. Регулирование реактивной мощности на основе PTU

также зависит от угла α , и ее действующее значение имеет вид

$$I_1 = \frac{U_m}{\omega L} \pi \left(\frac{1}{2} \sin 2\alpha + \pi - \alpha \right), \quad (14)$$

где $U_m/\omega L$ – амплитуда тока в установившемся режиме при $\alpha = \pi/2$.

Несмотря на их достоинства, такие как, высокий уровень быстродействия и надежности, низкая стоимость, высокая степень готовности простота в использовании и управлении, эти устройства имеют существенные недостатки. Основными недостатками являются низкие удельные массогабаритные показатели, обусловленные необходимостью использовать тиристоры, рассчитанные на управление полной мощностью компенсации, а также значительное искажение формы тока в реакторе. Поэтому использование этих устройств в корабельной и судовой ЭЭС нерационально.

Конденсаторные батареи

Традиционно проблема электромагнитной совместимости в ЭЭС решалась при помощи конденсаторных батарей с постоянной ёмкостью, снабженных электромеханическими коммутиру-

ющими устройствами. К несомненным достоинствам конденсаторных батарей следует отнести:

- возможность установки в любой точке сети;
- небольшие потери активной мощности;
- простой монтаж и возможность применения готовых элементов конструкции, что определяет относительно низкую стоимость затрат и эксплуатации.

Несмотря на ряд преимуществ, применение конденсаторов для компенсации реактивной мощности в некоторых случаях нецелесообразно, иногда, даже невозможно. При необходимости компенсации нагрузок с быстроменяющейся реактивной мощностью, как, например, компенсация реактивной мощности двигателя в процессе пуска, применяемое регулирование мощности конденсаторной батареи путём подключения или отключения её секций оказывается затруднительным в связи со ступенчатым характером регулирования мощности батареи. Также существует проблема возникновения ударных коммутационных сверхтоков, зависящих от момента переключения конденсаторов, а также неблагоприятного воздействия на конденсаторы токовых перегрузок при частоте высших гармоник, генерируемых нелинейными нагрузками. В случае компенсации реактивной мощности асинхронного двигателя, требуется большая мощность конденсаторов, превосходящая компенсируемую мощность двигателя в номинальном режиме в 8–10 раз, что обусловлено низким коэффициентом мощности двигателя в процессе пуска (0,2–0,3). Требуется несколько комплектов конденсаторов различного номинала, так как реактивная мощность двигателя значительно меняется в процессе пуска.

В условиях ограничений объемов и площадей корабельных и судовых сетей, применение конденсаторных батарей нецелесообразно в связи с их большими массогабаритными показателями. Кроме этого, конденсаторные батареи вызывают пожароопасность, особенно в морской среде, где имеется большое количество солей. Это означает, что применение конденсаторных батарей в ЭЭС для компенсации неактивной мощности возможно только частично [2].

Статический синхронный компенсатор

Статический синхронный компенсатор реактивной мощности СТАТКОМ представляет собой преобразователь напряжения на управляемых силовых транзисторах с накопительным конденсатором на стороне постоянного тока, включенный через трансформатор к сети переменного тока (рис. 3). Из на-

пряжения источника постоянного тока путем изменения длительности импульсов, т.е. за счет широтно-импульсной модуляции (ШИМ), формируется синусоидальное напряжение.

Отличительной особенностью СТАТКОМа является предельное быстродействие и возможность генерировать заданный ток независимо от величины входного напряжения за счет энергии запасенной на конденсаторе. Такой компенсатор способен генерировать реактивную мощность емкостного или индуктивного характера [3].

В настоящее время это самый эффективный компенсатор реактивной мощности, имеющий высокое быстродействие и наилучшие массогабаритные показатели, так как для обмена реактивной мощностью используется электролитический конденсатор на стороне постоянного тока, который обладает достаточно высоким удельным массогабаритным показателем. Принцип действия СТАТКОМа может быть успешно использован в компенсаторах неактивной мощности СЭЭС (рис. 3).

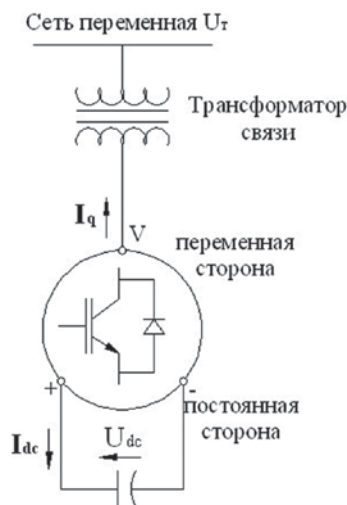


Рис. 3. Функциональная схема СТАТКОМа

КОМПЕНСАЦИЯ МОЩНОСТИ ИСКАЖЕНИЯ

Пассивные фильтры

Для ограничения воздействия нежелательных гармоник напряжения или тока в сети используются пассивные фильтры. Они состоят из нескольких LC контуров, каждый из которых настроен в резонанс на определённой частоте высшей гармоники тока сети. Таким образом, токи высших гармоник замыкаются через эти цепочки, не проходя дальше по СЭЭС. Пассивные фильтры могут иметь резонанс на одной частоте или на нескольких частотах, в зависимости от схемы. Пассивные фильтры делятся на четыре группы: низкочастотные, полосовые, высокочастотные и настроенные фильтры. Низко- и высокочастотные

фильтры предназначены для подавления высоких и низких порядков гармоник, соответственно. А полосовые фильтры пропускают только полосу частот. Настроенные фильтры предназначены для подавления конкретной особой частоты. Несмотря на низкую стоимость, пассивные фильтры имеют следующие недостатки:

Во-первых, большая чувствительность к точности настройки и высокая добротность фильтров, как правило, оказывают негативное влияние на переходные процессы, вызывая перенапряжения в сети. Кроме того, изменение параметров линий сети и частотного спектра тока могут привести к возникновению явления «антирезонанса» на частотах, близких к резонансным. Для устранения возможного негативного влияния на переходные процессы, а также ослабления влияния явления «антирезонанса» схема фильтра содержит дополнительные резисторы, а это влечет за собой снижение эффективности фильтрации цепочкой высшей гармоники, на которую она настроена.

Во-вторых, пассивные фильтры могут образовывать другие резонансные цепочки с индуктивностями и емкостями других элементов СЭЭС (индуктивность рассеяния трансформатора, емкость батарей конденсаторов и т.п.), что также приводит к повышению напряжения на линии. Поэтому при установке пассивных фильтров необходимо досконально изучить участок СЭЭС, провести расчеты. Все это в комплексе – достаточно трудоемкий процесс.

В-третьих, реальный частотный спектр высших гармоник тока или напряжения в сети имеет стохастический и изменяющийся характер. Кроме того, на параметры фильтров влияют технологические допуски и процессы старения их элементов, обусловленные во многом и влиянием фильтруемых высших гармоник. В результате практически исключается строгая их настройка на фиксированные частоты.

Наконец, как правило, фильтруется несколько наиболее энергетически важных, для каждого конкретного случая, высших гармоник, т.е. имеет место параллельное включение несколь-

ких цепочек, настроенных в резонанс на различные частоты высших гармоник. В результате происходит перераспределение токов между фильтрами на каждой частоте, ухудшая качество фильтрации.

Активные фильтры

В последние несколько десятилетий была создана элементная база для практической реализации методов активной фильтрации. Появление полностью управляемых быстродействующих полупроводниковых приборов – запираемых тиристоров, мощных полевых транзисторов и биполярных транзисторов с изолированным затвором с высокими значениями коммутируемых токов и напряжения позволило создать новое направление – активную фильтрацию.

Активный (силовой) фильтр (АФ) представляет собой четырехквadrанный напряжения, на полностью управляемых ключевых элементах, с емкостным или индуктивным накопителем электрической энергии на стороне постоянного тока, формирующий методами импульсной модуляции усредненное значение тока (напряжения), равное разности нелинейного (фильтруемого) тока (или напряжения) и синусоидального тока (напряжения) его основной гармоники. Активный фильтр обеспечивает компенсацию высших гармоник тока (или напряжения) сети путем генерирования высших гармоник тока (напряжения) в сеть, в противофазе с высшими гармониками тока (напряжения) сети.

По топологии включения активные фильтры подразделяются на источники напряжения и источники тока, в зависимости от цели компенсации.

Активные фильтры напряжения

Самый распространенный тип активного фильтра основан на инверторе напряжения. Эти фильтры имеют небольшие габариты, менее дороги и более просты в управлении. Потери мощности в них относительно меньше чем в активных фильтрах тока.

Для обеспечения синусоидальности напряжения на шинах нагрузки U_n последовательно с источником питания включается АФ в виде эквивалентного

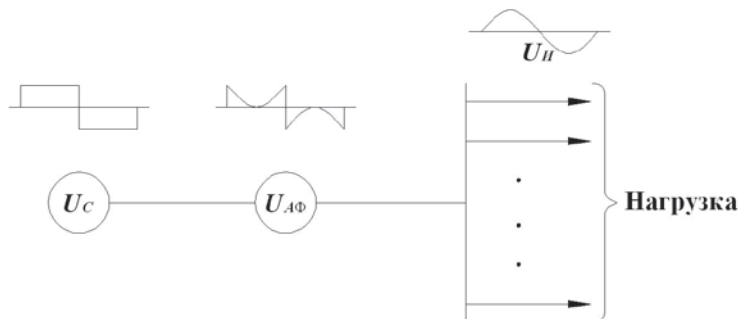


Рис. 4. Упрощенная эквивалентная схема АФ напряжения

источника напряжения $U_{АФ}$ (рис. 4). В этом случае АФ работает как источник напряжения, выдающий несинусоидальное напряжение, равное разности между нелинейным напряжением и его основной гармоникой.

Как правило, параметры таких активных фильтров определяются из следующих соотношений:

$$\begin{cases} U_n(\theta) = U_{1m} \sin(\theta - \varphi_1); \\ U_c = \sum_{n=1}^{\infty} U_{nm} \sin(n\theta - \varphi_n); \\ U_{АФ} = \sum_{n=1}^{\infty} U_{nm} \sin(n\theta - \varphi_n) \end{cases} \quad (15)$$

или

$$U(\theta) = U_c(\theta) - U_{АФ}(\theta),$$

где ϑ – угловая частота 1-й гармоники, n – номер высшей гармоники, φ – угол сдвига по фазе;

Полагая потери в АФ и его элементах равными нулю, определим активную мощность АФ на интервале периода основной гармоники:

$$P_{АФ} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[\sum_{n=1}^{\infty} U_{nm} \sin(n\theta - \varphi_n) \right] \times \times I_{nm1} \sin(\theta - \varphi_{i1}) d\theta = 0, \quad (16)$$

где I_{nm1} и φ_{i1} – амплитуда и фаза тока 1-й гармоники нагрузки.

АФ в этом случае работает как источник тока. Пренебрегая потерями в АФ, можно записать

$$\begin{cases} I_n(\vartheta) = \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(n\theta - \varphi_{in}); \\ I(\theta) = \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(n\theta - \varphi_{in}); \\ I_c(\theta) = I_n(\theta) - I_{АФ}(\theta) = \\ = I_{m1} \sin(\theta - \varphi_{i1}), \end{cases} \quad (17)$$

где I_{m1} и φ_{i1} – амплитуда и фаза тока 1-ой гармоники сети.

Активная мощность АФ на интервале периода основной гармоники определяется по формуле

$$P_{АФ} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[\sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(n\theta - \varphi_{in}) \right] \times \times U_{m1} \sin(\theta - \varphi_{i1}) d\theta = 0. \quad (18)$$

Очевидно, АФ тока, которые работают в режиме формирования тока, компенсирующего искажения тока на

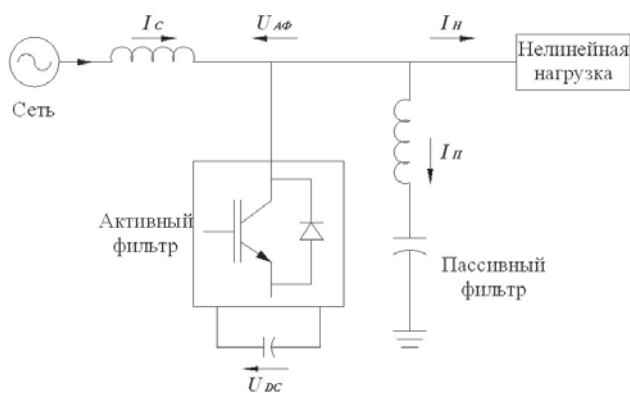


Рис. 5. Функциональная схема гибридного фильтра

грузки, и так же как АФ напряжения, не влияют на баланс активной мощности в системе источник – нагрузка.

Гибридные фильтры

Обычно, пассивный фильтр настроен в определенной частоте, чтобы подавить эту частоту и уменьшить номинальную мощность активного фильтра. Основным, принципиальным, недостатком пассивных фильтров является неуправляемость их параметров.

Очевидно, что с использованием методов активной фильтрации, появилась возможность управления параметрами пассивных фильтров. Целесообразность практического применения методов активной фильтрации для этих целей становится очевидной, если принять во внимание следующие обстоятельства. Во-первых, часто АФ имеют большую установленную мощность элементов, так как рассчитаны на работу при напряжениях и токах, максимальные значения которых определяются полной мощностью нелинейной нагрузки, создающей высшие гармоники тока. Во-вторых, пассивные фильтры, являясь традиционным средством повышения качества электроэнергии, не требуют создания новых технологий для их изготовления и входят в состав практически всех эксплуатируемых энергосистем.

В гибридных фильтрах АФ подключается параллельно или последовательно элементам пассивного фильтра. Являясь источником управляемых токов или напряжений относительно малой мощности, АФ может изменять в нужном направлении частотные характеристики фильтра в целом. На рис. 5 представлен пример схемы гибридного

фильтра с параллельным включением активной части.

В соответствии с принципами регулирования гибридных фильтров установленная мощность активной части снижается более чем на порядок по сравнению с АФ, рассчитанным на полную мощность искажений. Кроме того, появляется возможность автоматической коррекции параметров фильтра в процессе эксплуатации.

ВЫВОДЫ

Обеспечение требуемых параметров качества электрической энергии осуществляется за счет применения полупроводниковых преобразователей с коррекцией коэффициента мощности.

В статье приведен аналитический обзор современного состояния средств компенсации неактивной мощности и качества электроэнергии на судах, рассмотрены основные методы компенсации неактивной мощности; , приведены типовые схемы активных фильтров, структурные схемы переменного (постоянного) тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розанов Ю.К., Рябчинский М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника: учебник для вузов. – М.: ИД МЭИ, 2007, 632 с.
2. Кузнецов В.И. Бестрансформаторные единые электроэнергетические сети. – СПбГМТУ. – СПб., 2015. – 155 с.
3. Дмитриев Б.Ф., Галушин С.Я., Калмыков А.Н., Максимова М.А. Компенсация неактивной мощности в судовых электроэнергетических системах. // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – №3 (42). – Т2. – С.135–142. ■

АО «Компрессор» – одно из наиболее значимых научно-производственных объединений Петербурга, завод с почти полутора вековым опытом – входит в число ведущих российских разработчиков и производителей компрессорного оборудования. Им пройден путь от первых отечественных компрессоров до самых современных образцов компрессорной техники. Коллектив обеспечивает в первую очередь нужды ВМФ, и сегодня нет практически ни одного отечественного надводного или подводного корабля, где бы не было установлено оборудование АО «Компрессор». Кроме того, предприятие много и плодотворно работает в интересах ракетно-космической отрасли, производит целый спектр изделий для ТЭК, включая атомную и нефтегазовую промышленность, выполняет заказы МЧС и РЖД. Предлагаемые решения позволяют эксплуатировать оборудование в самых сложных условиях – в открытом море, в Арктике, в пустынях. Продукция АО «Компрессор» ценится за рубежом: ведутся поставки в страны СНГ, во многие государства Европы, Азии, Африки, на Кубу и в другие страны.

История АО «Компрессор» насчитывает более 140 лет: предприятие было основано в 1877 г. в Петербурге. Его создатель – Владимир Барановский, талантливый изобретатель, конструктор первых систем скорострельной артиллерии, сын инженера Степана Барановского – того самого человека, который в 1860 г. изобрел воздуходжиматель – компрессор. Отец и сын внесли важный вклад в развитие темы приложения силы сжатого воздуха к движению машин.

Завод В. Барановского начинал с выпуска продукции для оборонных нужд. Именно здесь были выпущены первая российская скорострельная пушка, первый компрессор и первый магистральный паровоз. К разработке и созданию компрессорного оборудования серьезно приступили в начале 1930-х гг. За время

АО «КОМПРЕССОР» - ЗНАЧИТ СДЕЛАНО В РОССИИ

АО «Компрессор»,
контакт. тел. (812) 295 5090



Главное здание «Акционерного общества «Компрессор»

Великой Отечественной войны подводные лодки Балтийского флота, оснащенные оборудованием «Компрессора», потопили 124 судна противника.

В советское время завод начал производить продукцию не только для военных нужд, но и для гражданских. Так, в 70-е гг. XX в. здесь были разработаны широкозахватные дождевальные машины для полива полей сельского хозяйства. Но традиционным потребителем продукции завода «Компрессор» был и остается ВМФ России.

Именно АО «Компрессор» вписало первые и главные страницы в летопись отечественного судового компрессостроения, и до настоящего времени это единственное в России предприятие по производству судовых компрессоров и компрессорных станций для всего ВМФ.

Так, на протяжении всех лет предприятие обеспечивает строящиеся на северодвинской верфи атомные ракетноносцы – основу морской составляющей ядерных сил страны – оборудованием для компримирования и очистки воздуха и других газов, не имеющее мировых аналогов. Оно применяется для работы атомного реактора, для регенерации воздуха для дыхания личного состава, для пуска ракет и торпед, для всплытия и погружения подводной лодки.

Специалисты АО «Компрессор» создают изделия на высочайшем техническом уровне и остаются передовым отрядом российского компрессостроения. Яркий пример тому дает деятельность генерального конструктора предприятия Леонида Григорьевича Кузнецова – доктора технических наук, профессора, кавалера орденов «Знак



Судовые компрессоры для специальных газов (водород, азот, кислород)



**Генеральный конструктор
АО «Компрессор» Л.Г. Кузнецов**

Почета», «Почета», «За заслуги перед Отечеством» 4-й степени, «Александра Невского», крупного эксперта в области разработки и освоения компрессорного оборудования, заслуженного машиностроителя РФ, Почетного судостроителя, лауреата премии Правительства РФ в области науки и техники, автора более чем 100 научных трудов и 85 патентов.

Под руководством и при непосредственном участии Л.Г. Кузнецова создано и освоено производством несколько поколений высокоавтоматизированного компрессорного оборудования для различных рабочих сред. Сегодня Л. Г. Кузнецов продолжает руководить модернизацией продукции с учетом последних достижений науки и техники.

Производимая предприятием продукция имеет специальное (взрывозащищенное) и общепромышленное исполнения, сертификат сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64, удароустойчивость составляет 20g, сертификат соответствия ТРТС032/2013 о безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением. Она одобрена Российским морским регистром судоходства, Норвежским Веритас, Регистром Ллойда (Великобритания). Для атомных электростанций осуществляется поставка оборудования, отвечающего специальным высоким требованиям для атомной энергетики – 3-му классу качества. В рамках выполненных ОКР созданы компрессоры и системы осушки и очистки сжатого воздуха, не имеющие мировых аналогов, полностью удовлетворяющие требованиям заказчика. В их числе – воздушный компрессор высокого давления, передвижная компрессорная станция низкого давления, дожимная компрессорная установка высокого давления.

АО «Компрессор» – современное динамично развивающееся предприятие, продукция которого востребована практически во всех добывающих и обрабатывающих отраслях. В соответствии с современной геополитической и экономической ситуацией его специ-

алисты разработали ряд перспективных изделий по линии импортозамещения: это воздухоудки, компрессоры для грузовых локомотивов, системы автоматического управления, холодильная техника, автомобильные газонаполнительные компрессорные станции, цеха подготовки газа, компрессорные установки для сжиженного газа, бустеры типа ДКУ, азотные и кислородные установки, воздухохранительные станции, приборы для определения содержания воды и масла в сжатом газе и др. Также был возобновлен выпуск винтовых компрессоров с возможностью размещения в здании цеха или в блок-контейнере на открытой площадке. В изделиях АО «Компрессор» отсутствуют комплектующие иностранного производства.



Узел подогрева и редуцирования природного газа

Изделиями АО «Компрессор» оборудованы научно-исследовательские суда, среди них – всемирно известные «Академик Королёв» и «Космонавт Юрий Гагарин», плавучая атомная станция «Академик Ломоносов», ледоколы, в том числе строящиеся «Арктика», «Сибирь», «Урал», крупнейшие танкеры, суда космической связи, авианосцы и крейсера, такие как «Адмирал Горшков» и «Петр Великий». Выпускаются компрессорные установки для ракетных комплексов войск стратегического назначения и ПВО, для ракетных стартовых комплексов наземного и морского базирования, для космодромов Байконур, Плесецк, Восточный.

Осуществлены поставки оборудования как на введенные в эксплуатацию, так и на строящиеся энергоблоки АЭС (Ленинградская, Калининская, Нововоронежская, Белоярская, Белорусская, Курская). На первой плавучей атомной электростанции «Академик Ломоносов» установлена продукция производства АО «Компрессор». Тепло- и гидроэлектростанции, МЧС (заправки баллонов воздухом, пригодным для дыхания), пищевая, химическая, нефтегазовая отрасли – везде востребовано оборудование, изготовленное заводом.

Отдельно можно выделить поставки оборудования для компрессорных

станций Североевропейского газопровода (СЕГ) и других объектов ПАО «Газпром». Предприятие не только предлагает готовые решения, но также разрабатывает и изготавливает оборудование под специальные требования заказчика. Успехов в исследованиях и разработках удается достигнуть благодаря усилиям коллектива, взаимодействию с ведущими вузами и НИИ России и стран СНГ, грамотно выстроенной подготовке кадров. На АО «Компрессор» сформирована инициативная рабочая группа для создания новой техники, непрерывно ведется внедрение новых технологий проектирования и производства продукции. Создано подразделение «Автоматические системы» для обеспечения оборудования современной системой управления, ведется строитель-

ство новых корпусов завода для производства крупногабаритных изделий.

Сервисный центр и мобильные бригады обеспечивают комплексный контроль эксплуатируемого оборудования и участвуют во всем его жизненном цикле, оказывая весь спектр услуг производственного характера и поставку запасных частей:

- проведение регламентных работ, технического обслуживания;
- ремонт оборудования любой сложности (текущий, средний, капитальный);
- замена устаревшего компрессорного оборудования на новое с обвязкой и пусконаладочными работами;
- обучение обслуживающего персонала работе на поставленном оборудовании
- диагностика и дефектация оборудования.

Сервисные центры имеются в г. Вилочинск и Камчатский край, г. Мурманск и Мурманская область, г. Владивосток и Приморский край, г. Севастополь и полуостров Крым, г. Калининград и Калининградская область, г. Северодвинск и Архангельская область, Астрахань и др.

Все это позволяет предприятию успешно работать и развиваться в условиях жесткой конкуренции на рынке компрессорного оборудования. ■

Создание эффективных, энергоёмких и экологически чистых источников энергии – важнейшее направление научно-технического прогресса, условие развития автономных и необслуживаемых энергосистем распределенной энергетики, электроустановок специального назначения. В современном обществе все чаще используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для решения разнообразных сложных задач, решение которых с участием человека экономически неэффективно, представляет определенную опасность или нецелесообразно.

Применение БПЛА в гражданских целях наиболее перспективно при выполнении авиационных работ, таких как мониторинг протяженных объектов промышленной инфраструктуры, быстрое обнаружение терпящих бедствие в результате авиационных, морских и чрезвычайных происшествий, включая природные катаклизмы [1]. В военных целях БПЛА используются при выполнении наблюдательных и разведывательных миссий, в том числе в сложных метеорологических условиях днем и ночью.

Наиболее важным компонентом БПЛА является система энергоснабжения, характеристики и особенности которой (удельная энергия и удельная мощность) в значительной степени определяют грузоподъемность БПЛА, продолжительность, скорость и высоту полета. Сегодня для энергоснабжения БПЛА используют два вида систем энергоснабжения, основанных либо на двигателе внутреннего сгорания (ДВС), либо на электродвигателе (ЭД) в комплекте с литиевыми аккумуляторами (ЛИА). Оба вида имеют ряд ограничительных недостатков, что обуславливает ограниченную применимость аппаратов на

СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.Г. Юрескул, канд. техн. наук, начальник НПЦ АО «Концерн «Гранит-Электрон»»,

Е.А. Анисимов, науч. сотрудник ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова,

Ю.И. Иванов, канд. техн. наук, доцент Института радиотехнических систем и управления ЮФУ,

Н.А. Фаддеев, инженер-исследователь,

Н.В. Смирнова, д-р хим. наук, проф., ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, контакт. тел. (812) (812) 445 0829, +7 (928) 901 9372

их основе. Так, устройства на базе ДВС отличаются значительным уровнем шума, вибраций и наличием теплового следа, кроме того, имеют выхлоп, загрязняющий окружающую среду, что усложняет работу с высокоточным бортовым оборудованием и увеличивает демаскирующий фактор. Использование устройств на базе ЭД с питанием от аккумуляторов позволяет решить эти проблемы, однако они имеют объективные ограничения по температурному диапазону эксплуатации и, главное, по времени непрерывного действия из-за существенного роста массы ЛИА при продолжительности работы более 1,5 часов.

Таким образом, ни тот ни другой тип энергоснабжения не является достаточно универсальным для решения широкого спектра задач, выполняемых беспилотной техникой. Альтернативой может быть использование водородно-воздушных твердополимерных топливных элементов [2]. Системы электроснабжения на таких топливных элементах (ТЭ) в настоящий момент уже имеют преимущества перед «классическими» решениями [3].

Процесс производства электроэнергии в ТЭ проходит в одну стадию, без промежуточных преобразований химической энергии в тепловую, тепловой – в механическую, а затем уже в электрическую, благодаря чему энергоустановки на ТЭ значительно более эффективны и экологически чисты [4]. Эффективность современных ТЭ достигает 75%, что уже на текущем уровне развития технологии позволяет создавать энергоустановки с КПД до 65% для установок киловаттного класса мощности [5].

Системы энергоснабжения на основе ТЭ включают в себя ряд подсистем, в том числе: стек (батарея) ТЭ; подсистему подачи топлива, включая баллон водорода; подсистему подачи окислителя, совмещенную с подсистемой охлаждения; электрическую подсистему обеспечения энергией, включая резервные ЛИА; подсистему управления (рис. 1).

Топливный элемент – это электрохимическое устройство, в которое извне подаются вещества, необходимые для электрохимической реакции. Поэтому энергозапас ТЭ может варьиро-

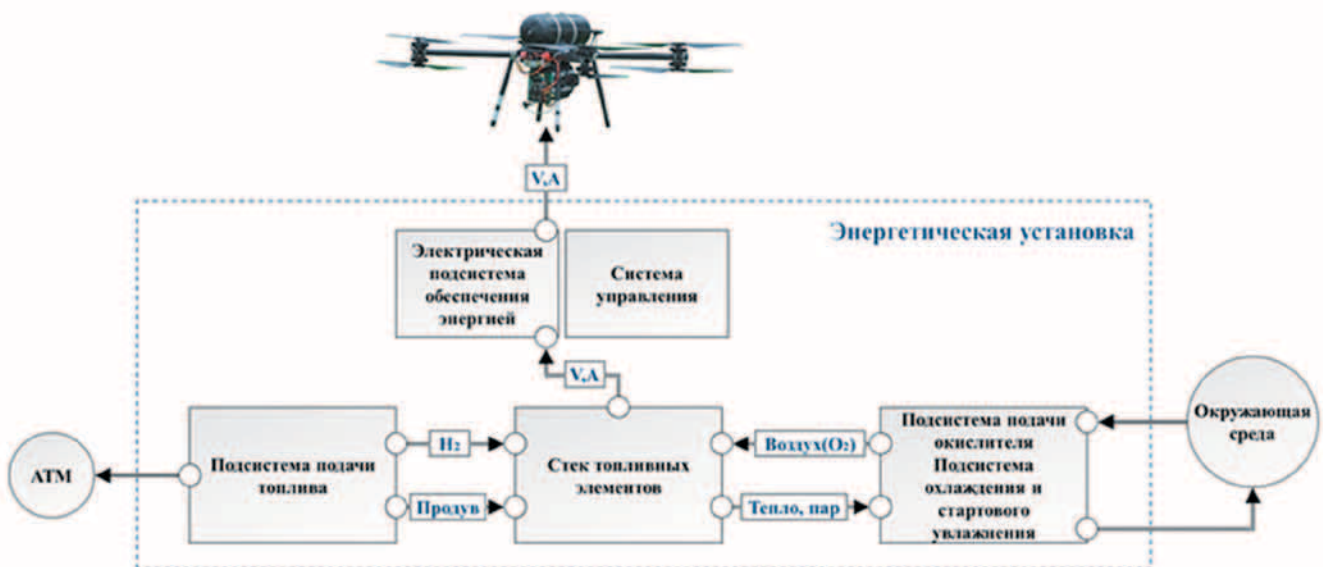


Рис. 1. Системная модель энергетической установки

ваться в широких пределах, в отличие от ограниченного количества энергии, запасенного в аккумуляторе. Топливный элемент состоит из мембранно-электродного блока (МЭБ), расположенного между двумя биполярными пластинами. МЭБ включает в себя только один катод и один анод. Каждый из электродов представляет собой каталитический слой, нанесенный на углеродную бумагу или ткань (газодиффузионный слой). Оба электрода контактируют с твердым полимерным электролитом [6]. На анод подается топливо – водород, на катод – окислитель – воздух. В результате окисления водорода генерируется электроэнергия и единственный побочный продукт – вода. Мощность единичного ТЭ мала, и для достижения необходимых характеристик (напряжения, тока и мощности) используют батареи ТЭ.

С точки зрения электронной схемы, батарея ТЭ представляет собой последовательное соединение отдельных единичных ячеек ТЭ, напряжения на которых могут варьироваться от 0,6 до 1,1 В. От количества таких последовательно соединенных ячеек зависит и общее выходное напряжение ТЭ. Кроме того, на общее выходное напряжение ТЭ существенное влияние оказывают и электрохимические процессы, которые протекают в нем. В этой связи схема управления энергетической установкой должна выпол-

нять не только функцию преобразования электрической энергии, но и одновременно обеспечивать оптимальные условия работы ТЭ.

Для обеспечения длительного срока службы ТЭ необходимо обеспечить оптимальные условия его эксплуатации. Считается, что нормальные условия эксплуатации ТЭ достигаются при нагрузке, близкой к максимальной. При этом нужно следить за температурой этого элемента, напряжением на его отдельных элементах, выполнять подачу топлива и окислителя по определенному алгоритму, а также обеспечивать минимальное время работы на холостом ходу, т.е. без нагрузки. На практике диапазон изменения нагрузки оказывается достаточно большим. Причем возможны кратковременные перегрузки, которые могут приводить к снижению напряжения на нагрузке ниже допустимого значения. Решением проблемы может быть увеличение мощности ТЭ или применение дополнительного источника питания, например, в виде аккумуляторной батареи, которая компенсирует на короткое время недостаток мощности элемента. Второй путь решения проблемы более предпочтителен, так как возможны меньшие массогабаритные параметры энергетической установки.

Для обеспечения стабильного напряжения на нагрузке в энергетичес-

кой установке целесообразно использовать стабилизатор напряжения. При номинальной нагрузке питание нагрузки осуществляется от ТЭ, а избыток энергии используется для подзарядки аккумуляторной батареи через зарядное устройство. Стабилизатор напряжения может быть построен на основе понижающего DC-DC преобразователя, причем с целью снижения массогабаритных параметров без гальванического разделения входа и выхода. Классическая схема такого преобразователя состоит из двух электронных ключей, фильтра, выполненного на катушке индуктивности, и конденсаторе. Управление ключами осуществляется двумя импульсными последовательностями.

В реальных схемах импульсных стабилизаторов напряжения частоту переключения электронных ключей выбирают достаточно высокой. Обычно она находится в диапазоне от 10 кГц и выше, а в современных стабилизаторах напряжения может быть и выше 1 МГц. В связи с этим период коммутации оказывается достаточно малым. Катушка индуктивности в каждой фазе коммутации ключей подключается или к источнику напряжения, или к общей шине. В каждой фазе последовательно с индуктивностью включен электронный ключ и, если он реализован на МОП-транзисторе, то легко учесть влияние сопротивления

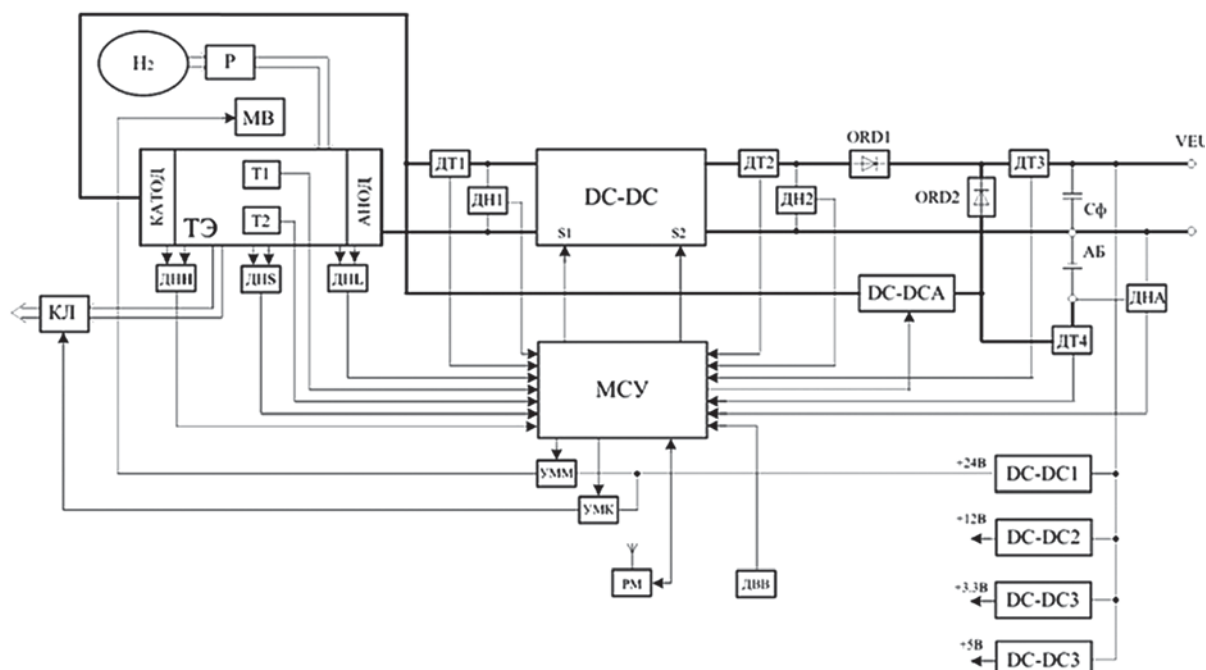


Рис. 2. Структурная схема системы управления энергетической установкой с топливным элементом

Р – редуктор, понижающий давление топлива на входе ТЭ; МВ – мотор-вентилятор; Т1, Т2 – датчики температуры окислителя на входе и выходе ТЭ; ДНН, ДНС, ДНЛ – датчики напряжения катодной, средней и анодной ячеек ТЭ; ДТ1 и ДН1 – датчики тока и напряжения на выходе ТЭ; ДТ2 и ДН2 – датчики тока и напряжения на выходе DC-DC преобразователя; ДТ3 – датчик тока нагрузки энергетической установки; ДТ4 – датчик тока аккумуляторной батареи; ДНА – датчик напряжения аккумуляторной батареи; АБ – аккумуляторная батарея; Сф – конденсатор фильтра; ORD1, ORD2 – электронные диоды, выполненные на полевых транзисторах; МСУ – микроконтроллерная схема управления; УМК – усилитель мощности клапана; УММ – усилитель мощности мотор-вентилятора; РМ – радиомодуль для связи с персональным компьютером; DC-DC1,2,3,А – вспомогательные преобразователи напряжения; ДВВ – датчик влажности

его канала на регулировочную характеристику.

Активное сопротивление индуктивности и конечное значение сопротивлений электронных ключей в замкнутом состоянии ограничивают максимальное значение выходного напряжения на выходе преобразователя. Поэтому выходное напряжение понижающего преобразователя напряжения всегда оказывается ниже входного напряжения. Активное сопротивление катушки индуктивности и конечные значения сопротивлений открытых каналов полевых транзисторов, используемых в качестве управляемых электронных ключей, приводят к потерям мощности в преобразователе. Этот факт необходимо учитывать при разработке принципиальной схемы и выбирать типы элементов с минимально возможными активными сопротивлениями.

В энергетической установке с топливным элементом DC-DC преобразователь должен выполнять не только функцию преобразования уровня напряжения, но и одновременно функцию стабилизации выходного напряжения, а также ограничивать максимально допустимый ток нагрузки, что позволит избежать выхода из строя полупроводниковых электронных ключей.

В зависимости от алгоритма управления DC-DC стабилизатор может работать как в режиме источника напряжения, так и в режиме источника тока.

При разработке структурной схемы системы энергетической установки с ТЭ в ее основу была положена схема DC-DC стабилизатора. Кроме того, в схему заложены дополнительные аналоговые и цифровые интерфейсы, которые позволяют в случае необходимости подключить дополнительные датчики, контролирующие, например, скорость потока окислителя, давления топлива на вход ТЭ и т.д. (рис. 2).

Указанные выше технические решения были успешно реализованы в системе управления и подсистеме обеспечения энергией при создании системы энергоснабжения для БПЛА в рамках Национального технологического конкурса Up Great «Первый элемент» (рис. 3). При создании само-



Рис. 3. БПЛА с системой энергоснабжения на основе ТЭ

го стека ТЭ были использованы разработанные технологии изготовления Pt/C катализатора [7] и биполярных пластин. Применение программного комплекса Solid Flow Simulation для получения данных о распределении температурных полей и газовых потоков топлива и окислителя, воздушных потоков в системе охлаждения системы энергоснабжения на основе топливных элементов, позволило оптимизировать работу систем подачи окислителя и охлаждения [8]. Данные технические решения позволили достичь показателя энергоемкости 529 Вт·ч/кг и продержаться в режиме полетной нагрузки более двух с половиной часов, что является одним из лучших результатов для энергоустановок такого класса в России.

Полученные опыт и наработки позволяют обоснованно рассматривать возможности использования отечественных мобильных энергоустановок на водородных топливных элементах киловаттного класса мощности и выше применительно к гражданским и военным морским комплексам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронаев Н.П. Применение беспилотных летательных аппаратов в интере-

сах МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2014. – № 4.

2. Kadyk T. et al. Analysis and design of fuel cell systems for aviation // Energies. – 2018. – Т. 11. – № 2. – P. 375.
3. Wang G. et al. Progress on design and development of polymer electrolyte membrane fuel cell systems for vehicle applications: A review // Fuel Processing Technology. – 2018. – Т. 179. – P. 203–228.
4. Li Y., Yang J., Song J. Structure models and nano energy system design for proton exchange membrane fuel cells in electric energy vehicles // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Т. 67. – P. 160–172.
5. Wilberforce T. et al. Advances in stationary and portable fuel cell applications // International journal of hydrogen energy. – 2016. – №41 (16509–16522).
6. O'hayre R. et al. Fuel cell fundamentals. – John Wiley & Sons, 2016.
7. Leontyev I. et al. New life of a forgotten method: Electrochemical route toward highly efficient Pt/C catalysts for low-temperature fuel cells // Applied Catalysis A: General. – 2012. – Т. 431. – P. 120–125.
8. Anisimov E., Faddeev N., Smirnova N. Data on the thermo-fluid simulation of open-cathode fuel cell stack depending on the location of the oxidizer/cooling supply system // Data in Brief. – 2020. – С. 105–771. ■

Необходимость развития автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) диктуется как гражданскими, так и военными задачами. С этой целью в АО «Концерн «НПО «Аврора» был создан и прошел успешные испытания АНПА. Из литературных источников известно, что энергетика АНПА может быть реализована на основе тепловых двигателей замкнутого цикла (внутреннего и внешнего сгорания, паро- или газотурбинных), а также химических источников тока (ХИТ). Эти источники подразделяются на две группы: аккумуляторные батареи (АБ) и электрохимические генераторы (ЭХГ). Созданный в НПО «Аврора» АНПА для своего энергообеспечения использует литий-железо-фосфатную АБ, которая на испытаниях аппарата работала с полного заряда до разряда около шести часов [1]. Образец этого АНПА был представлен на выставке «Нева-2017». Для длительного использования АНПА требуются более энергоемкие источники питания, в частности, электрохимические генераторы водородно-кислородного типа [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ 3D ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНПА С АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕЕЙ И ЭХГ

На этапе разработки конструкции АНПА специалистами НПО «Аврора» с помощью программы Solid Works были созданы 3D модели аппаратуры и оборудования, 3D модели отсеков и, в частности, отсек с АБ, изображенной на рис. 1.



Рис. 1. Li-FePO₄ аккумуляторная батарея

При проектировании и изготовлении АНПА использовался САПР Solid Works. В результате была создана объемная модель АНПА, проработаны компоновка оборудования, конечный вид и число отсеков. Посредством встроенного пакета Simulation был выполнен расчет прочности отсеков и подобран материал корпуса для заданных нагрузок. С использованием приложения Flow Simulation были получены гидродинамические характеристики аппарата и управляющие силы от рулей (рис. 2). Расчет гидравлического сопротивления корпуса с выступающими частями аппарата позволил определить требуемую тягу и вращательный момент от маршевого движителя. С учетом всех потерь выбран гребной электродвигатель и спроектирован гребной винт под заданные требования:

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЮ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Л. Г. Бакуменко, гл. конструктор,
А. Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотрудник,
М. В. Ларионов, нач. лаборатории,
С. Н. Сурин, канд. техн. наук, зам. ген. директора – директор по спецтеematике и автоматизации ЯЭУ,
 АО «Концерн «НПО «Аврора»,
 контакт. тел. (812) 610 1109

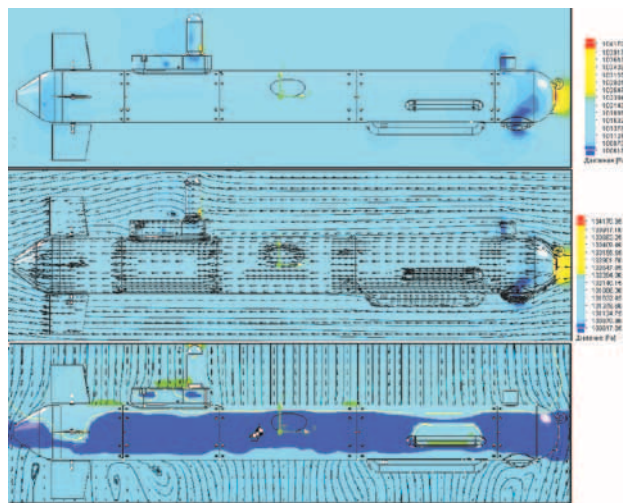


Рис. 2. Результаты обдувки аппарата и линии тока

- максимальная скорость хода АНПА 5 уз;
- минимальное энергопотребление при движении АНПА.

С целью повышения остойчивости аппарата и создания требуемой положительной плавучести [3] были выполнены соответствующие расчеты и определены места установки балласта. Для ускорения решения задач, возникающих при размещении и компоновке оборудования, использовался 3D принтер.

Созданная 3D модель позволила оптимизировать размещение оборудования в отсеке и обеспечить необходимую остойчивость при маневрировании АНПА.

Результаты обдувки аппарата с линиями тока, изображенными на рис. 2, использовались при расчете его автономности. Применение литий-ионной аккумуляторной батареи (ЛИАБ) энергоемкостью 1200 Вт·ч позволило при среднем потреблении электроэнергии 200 Вт обеспечить автономный ход АНПА в течение пяти-шести часов. В результате конструкторских проработок длина аккумуляторного отсека с ЛИАБ составила 580 мм, а длина всего аппарата – 2,15 м.

Как известно, энергоемкость источников электрической энергии АНПА – одна из основных его технических характеристик. По этой причине выбору

типа АБ для обеспечения необходимой автономности аппарата было посвящено отдельное исследование.

Были рассмотрены и всесторонне проанализированы характеристики литий-полимерных Li-Pol батарей различных типов производства Китая (E-Stars), литий-ионных ЛИА-6,8 производства России («Ригель»), никель-металлгидридных (НМГЦ) и батарей A123 26650 LiFePO₄ производства Китая (A123 Systems).

Наиболее перспективными и инновационными на данный момент являются литий-никель-марганец-кобальтовые Li-NMC батареи. На мировом рынке массово представлены эти батареи двух типоразмеров – 18 650 и 21 700, которые различаются химическим составом анода и катода, а также массогабаритными и емкостными характеристиками.

Аккумуляторные батареи типа 21 700, относящиеся к последнему поколению, имеют большой срок службы, минимальный саморазряд и высокую удельную емкость, что способствует их применению в электромобилях «Тесла». ЛИАБ этого типа в больших количествах изготавливаются в разных странах, в том числе в Китае, Японии и США [4].

Особое значение при подборе и комплектовании ЛИАБ имеют оптимизация технологии сборки, обеспечение мак-

Сравнительные характеристики аккумуляторных батарей разных типов при заданной суммарной емкости 50 А·ч и напряжении 27 В

Характеристика АБ	Li-Pol литий-полимерная	ЛИА-6,8 литий-ионная	LiFePO4 литий-железо-фосфатная	Li-NMC литий-никель-марганец-кобальт
Напряжение, В	3,7	3,7	3,2	3,7
Емкость, А·ч	5,1	6,8	2,5	3,7
Максимальный ток, длительно, А	153	70	60	70
Максимальный ток, кратковременно, А	230	120	130	120
Объем ячейки, л	0,056	0,068	0,035	0,024
Масса ячейки, г	121,5	140,0	76	70
Количество ячеек, шт.	10×8 = 80	7×8 = 56	9×20 = 180	13×8 = 104
Саморазряд, не более, % в месяц	5	9	3	2
Емкость АБ, А·ч	51	48	50	48
Суммарная масса ячеек АБ, г	9700	7800	13700	7280
Объем, ячеек АБ, л	4,48	3,8	6,3	2,5
Срок службы, число лет	3	5	5	5
Удельная энергия, Вт·ч/кг	155	180	105	195

симальной емкости при минимальном саморазряде и создание надежной системы контроля и защиты, а также создание зарядных устройств с учетом особенностей режимов использования АБ на объектах.

Испытания АНПА показали, что электрические параметры аккумулятора выбранного типа (Li-NMC) обеспечивают выполнение заданных технических требований к электропитанию аппарата. В таблице представлены сравнительные характеристики АБ разных типов применительно к сборке с заданной емкостью и напряжением.

Поскольку в нашей стране принята программа импортозамещения компонентов технических устройств, прорабатывается техническая возможность применения на АНПА отечественных литий-ионных аккумуляторов на основе кобальта лития. С этой целью рассматриваются возможности автоматизированной линии по изготовлению батарей типа ICR50/160, создаваемых на ОАО «Верхнеуфалейский завод «Уралэлемент».

Преимущества литий-ионных АБ заключаются в простоте формирования энергетического модуля в отсеке АНПА и достаточно быстрой замене источника энергии. Однако современные ЛИАБ

имеют ограниченное время работы между технологическими операциями заряда-разряда.

На созданном в объединении АНПА используется литий-железо-фосфатная АБ (Li-FePO₄) типа RT LRF1200–24 емкостью 1200 Вт·ч, представленная на рис. 1, которая при среднем потреблении 180 Вт обеспечивает пять-шесть часов автономного хода АНПА.

Дальнейшим этапом на пути увеличения емкости стало создание литий-никель-марганцево-кобальтовой аккумуляторной батареи Li-NMC емкостью 1800 Вт·ч (рис. 3), которая позволила увеличить время автономной работы аппарата в 1,5 раза, до 9 часов. При этом длина отсека осталась 580 мм, а масса батареи уменьшилась на 3 кг.

Во время испытаний батареи при неоднократных процессах заряда/разряда разрядная емкость составляла не менее 70 А·ч при времени разряда девять часов, причем удельная емкость была не менее 180 (Вт·ч)/кг. Батарея без существенной потери емкости переносит кратковременные (до 5 секунд) пиковые нагрузки до 250 Вт при постоянной потребляемой фоновой мощности 200 Вт. В качестве варианта для увеличения времени работы АНПА можно исполь-

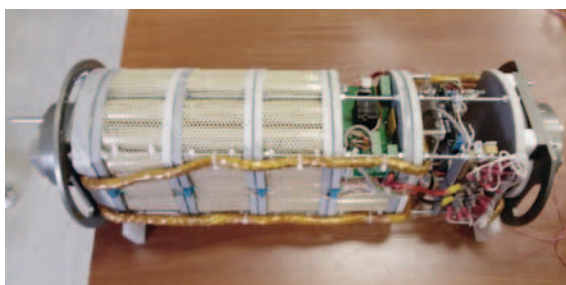


Рис. 3. Li-NMC аккумуляторная батарея

зовать две последовательно соединенные батарейные сборки.

В настоящее время специалисты НПО «Аврора» разрабатывают ЭУ АНПА с существенным увеличением энергоемкости путем замены ЛИАБ на ЭХГ водородно-кислородного типа. Проанализировав состояние развития отечественных технологий создания ЭХГ, выбрали вариант щелочного ЭХГ с хранением реагентов в баллонах высокого давления [2].

В нашей стране существуют предприятия, изготавливающие опытные партии топливных элементов, из которых собираются батареи топливных элементов (БТЭ) для ЭХГ с различными характеристиками, причем они могут производить как щелочные, так и твердополимерные топливные элементы.

К достоинствам щелочных ЭХГ можно отнести минимальный удельный расход реагентов, использование отечественных компонентов и комплектаций при их изготовлении, а к недостаткам – высокие требования к чистоте реагентов [2] и необходимость восстановления ранее налаженного серийного производства топливных элементов.

Достоинствами твердополимерных ЭХГ являются относительно невысокие требования к чистоте реагентов, а недостатками – зависимость от импортных компонентов и более высокие на 10–15% удельные расходы реагентов.

При использовании энергетической установки с топливными элементами существует определенное разнообразие выбора систем хранения и генерации реагентов (водорода и кислорода). Как известно [2], реагенты на борту морских объектов могут храниться в свободном и связанном состояниях. В условиях малых необитаемых подводных аппаратов наиболее предпочтительно баллонное хранение реагентов в газообразном состоянии под высоким давлением. В перспективе, как показано в работе [5], возможно получение сверхчистых реагентов на судне-носителе с использованием процесса электролиза конденсата, полученного в процессе электрохимической реакции в топливных элементах.

Созданный на 3D принтере полноразмерный макет энергетического отсека с ЭХГ и водородно-кислородным аккумулятором (ВКА), представленный на рис. 4, позволил проанализировать различные компоновочные варианты размещения в нем аппаратуры.

При переходе на ЭХГ взамен АБ увеличивается время автономной работы АНПА в 3–4 раза в зависимости от нагрузки.

Изготовление и проведение испытаний макетного образца ВКА с щелочными топливными элементами запланировано на предприятии-изготовителе ООО

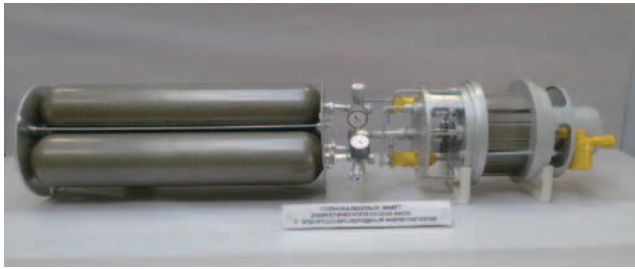


Рис. 4. Полноразмерный макет энергетического отсека с ЭХГ и водородно-кислородным аккумулятором

«НПО «Центротех» (г. Новоуральск) в 2020 г. Энергоемкость макетного образца ВКА должна составить не менее 4,5 кВт·ч при напряжении не менее 24+3 В и средней потребляемой мощности около 250 Вт. Отсутствие высокого напряжения в энергоустановке не требует дополнительных преобразователей, что повышает ее КПД. Газообразные реагенты (водород и кислород) подаются из стандартных баллонов под давлением 30 МПа с последующим снижением давления газов до значений, предписанных инструкциями по эксплуатации ЭХГ водородно-кислородного типа. Баллоны для хранения газообразных реагентов изготавливаются серийно из композитных материалов и поставляются заполненными газами заказчику, что упрощает процедуру их замены на АНПА.

Работы по созданию АНПА с ВКА и ЭХГ в качестве источника электроэнергии проводятся в рамках инновационной деятельности АО «Концерн «НПО «Аврора» и ООО «НПО «Центротех», входящего в ГК «Росатом».

После установки ВКА на АНПА, проверки его работы и проведения комплексных испытаний планируется создание энергоустановки, в состав которой будут входить ЭХГ и АБ.

За рубежом также ведутся проработки ЭУ с ЭХГ для АНПА. Так, в разработках двух типов водородно-кислородных ЭХГ фирмы Pratt & Whitney (США) для АНПА рассматривались криогенное (ПС-12) и газообразное (ПС-15А) хранение реагентов. По результатам сравнения был сделан выбор в пользу газообразного хранения реагентов при высоких давлениях.

Фирмами Alis Chalmers, Pratt & Whitney разрабатывались водородно-кислородные модули ЭХГ мощностью $N = 1, 2$ и 30 кВт. В ЭХГ ПС-15А используются два блока топливных элементов мощностью по 30 кВт, напряжением 100 ± 140 В и запасами энергии 700 кВт·ч. Водород и кислород хранятся в сферических баллонах при давлении 50 и 30 МПа соответственно. Блоки топливных элементов размещены в контейнерах диаметром 0,37 м и длиной 1,58 м. Удельная массовая энергия составляет $W_m = 290$ (Вт·ч)/кг при среднем напряжении одного элемента $u_{cp} = 0,88$ В.

На аппарате «Deep Qwest» проводились испытания ЭУ с ЭХГ на глубинах до 1500 м. При этом от ЭХГ обеспечивалось движение АНПА со скоростью $v = 3$ уз в течение 12 часов, питание бортовой аппаратуры и других потребителей.

Канадская фирма CELLULA Robotics завершает создание АНПА с ЭХГ на твердотопливных топливных элементах. Реагенты размещаются в баллонах под давлением 69,0 МПа – водород и 55,0 МПа – кислород.

На рис. 5 представлена компоновка японского АНПА с энергетическим отсеком, спроектированным под ЭХГ с интерметаллидным хранением водорода. Известно [2], что такой тип хранения водорода используется на германских подводных лодках проектов 212/214. Стойкость интерметаллидов достаточно высока, количество циклов зарядки-разрядки водородом в настоящее время до конца не изучено, а промышленное производство в больших количествах в нашей стране отсутствует. Система за-

правки водородом для подобного хранения на борту АНПА представляется сложной, поскольку требует интенсивного охлаждения в течение длительного времени. Однако наиболее неблагоприятным показателем интерметаллидного хранения водорода является большая масса интерметаллида, размещаемого на подводном объекте, так как сплав гидридов металлов способен поглощать или выделять водород в количестве ~2% от массы гидридов.

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ С ВОДОРОДНО-КИСЛОРОДНЫМ АККУМУЛЯТОРОМ НА АНПА

Управление водородно-кислородным аккумулятором осуществляется с использованием блока программного управления ВКА (БПУ ВКА). Этот блок предназначен для организации вычислительного процесса, управления, сбора, преобразования и обработки информации от технических средств и исполнительных устройств и выдачи управляющих сигналов, а также обмена данными с верхним уровнем БПУ АНПА по каналам связи.

БПУ ВКА обеспечивает следующие информационные и управляющие функции:

- сбор и обработку параметров рабочих сред (давления, температуры, концентрации газов и др.) и параметров электроэнергии (ток, напряжение, остаточная энергоемкость);
- определение вида неисправности, из-за которой произошел аварийный вывод из действия;
- выдачу дискретных сигналов на управление электромагнитными клапанами;
- автоматическое управление оборудованием в соответствии с заложенным алгоритмом, включая функции защиты;
- контроль возникновения пожароопасной ситуации (предельная концентрация водорода, повышение температуры);
- поддержку протокола обмена сигналами с БПУ АНПА.

При управлении БПУ ВКА реализуются мероприятия, исключающие действия, приводящие к развитию аварийных ситуаций. При этом предусматривается приоритет сигналов защиты и блокировки перед командами управления.

БПУ ВКА строится с использованием современной элементной базы преимущественно отечественного производства. При отсутствии отечественных аналогов отдельные комплектующие могут быть приобретены у зарубежных производителей при соответствующем обосновании.



Рис. 5. Схема компоновки японского АНПА с энергетическим отсеком, спроектированным под ЭХГ с интерметаллидным хранением водорода

Использование датчиков соответствует применяемым рабочим средам. На системе подачи водорода необходимо применять датчики во взрывозащищенном исполнении.

Поскольку объект необитаемый и оператор не имеет возможности вмешаться в процесс генерирования энергии, количество обрабатываемых БПУ ВКА сигналов минимизировано.

Помимо функций самодиагностики БПУ ВКА определяет неисправности датчиков (температуры, давления, расхода, теплового излучения, газового анализа, напряжения, тока и т. д.).

В БПУ ВКА входит контроллер, который обладает достаточной производительностью для решения основных задач управления, система ввода-вывода (осуществляющая прием в контроллер сигналов со всех датчиков и формирование управляющих воздействий контроллера на исполнительные устройства), блок релейной коммутации (для дискретного управления относительно мощными исполнительными устройствами), сетевой коммутатор (обеспечивающий работу интерфейса цифровой передачи данных (Ethernet) и модуль Ethernet/RS (преобразователь интерфейсов, обеспечивающий связь цифровых каналов передачи данных от модулей).

Контроллер является основной структурной единицей в архитектуре системы управления. При проектировании систем на базе микроконтроллеров приходится соблюдать баланс между размерами и стоимостью, с одной стороны, гибкостью и производительностью – с другой.

Система управления АНПА с элементами искусственного интеллекта предполагает определенный порядок функционирования. На основании первоначального плана действий, заложенного в бортовой вычислительный модуль, включающего информацию о районе, гидрологических характеристиках и характере грунта, блок выбора стратегии определяет наиболее эффективный способ решения поставленной задачи без учета внешних воздействий, маршрут следования (характер маневрирования), скорость и глубину хода. Подготовленный к работе АНПА выполняет маневрирование посредством движительно-рулевого комплекса, осуществляет наблюдение посредством сенсорной системы. При этом непрерывно отслеживаются и учитываются изменения, вносимые внешней средой, и производится корректировка стратегии поведения АНПА. На основании исходных данных и данных, получаемых от сенсорной системы, выполняется распознавание образов и принятие решений поставленной задачи.

Создание имитационно-моделирующего комплекса для комплексного моде-

лирования подводной робототехники, ее технического состояния, внешних условий и тактической обстановки, математической и алгоритмической отладки интеллектуальных интегрированных автоматических систем управления АНПА позволит решить задачи эффективного одиночного применения и группового взаимодействия АНПА:

- моделировать решение задач различного спектра, отладку существующих и разрабатываемых программно-аппаратных средств АНПА;
- отрабатывать методы и средства алгоритмического и математического моделирования функционального применения и выполнения миссий робототехнических средств;
- проводить отладку интеллектуальных компонентов логического взаимодействия составных частей математического программного обеспечения;
- формировать базы данных и базы знаний интеллектуального программного обеспечения, обеспечивающего возможность работы АНПА в условиях неопределенной внешней обстановки и воздействия неожиданных факторов;
- разрабатывать методологию системного использования робототехнических средств в интересах создания информационных сетевых систем освещения подводной обстановки;
- обеспечивать создание АНПА нового поколения с высоким адаптивным интеллектуальным уровнем;
- готовить операторов управления комплексами АНПА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для перспективных моделей АНПА важно обеспечить значительную дальность плавания и автономность, что возможно с помощью бортовых источников энергии, эффективного движительно-двигательного комплекса и при рациональной форме корпуса аппарата.

Создание инновационной батареи, удовлетворяющей заданным техническим требованиям, позволяет существенно увеличить емкость и, следовательно, время работы АНПА, а также обеспечить полезную нагрузку с пиковыми значениями тока 50 А и более.

Полученный опыт применения различных литий-ионных аккумуляторов при испытаниях АНПА показывает возможность выбора и внедрения батареи с большой удельной емкостью, в том числе на объектах, к которым предъявляются аналогичные требования, а выявленные преимущества Li-NMC АБ перед подобными источниками электропитания – расширить возможности АНПА.

При переходе на отечественное изготовление ЛИАБ, в случае принятия та-

кого решения, можно будет поставлять на российский рынок аппараты, укомплектованные малогабаритными АБ с различными электрическими параметрами. В зависимости от поставленных задач возможны различные варианты параллельно-последовательной сборки, при которых будет осуществляться одновременное использование при ограниченных нагрузках или кратковременное использование при больших нагрузках.

Применение ЭХГ водородно-кислородного типа на АНПА позволит также увеличить время их пребывания в подводном положении свыше суток с использованием более энергоемкой полезной нагрузки и расширить технические возможности аппаратов.

Анализ показал преимущества газобаллонного хранения реагентов под давлением в энергетическом отсеке АНПА. Необходимые компетенции и технологии в РФ имеются, поэтому аппараты могут оснащаться целиком отечественными компонентами энергоустановок.

Разработка математической модели позволит определить зависимости требуемой энергоемкости энергетической установки от заданных параметров АНПА: автономности, его скорости хода и гидродинамических характеристик, а также энергопотребления движительно-рулевого комплекса и бортового оборудования, а разработка математического моделирования применительно к расчету автономности – не только определить запас хода аппарата с известными характеристиками, но и сформулировать требования к системе энергообеспечения на ранних стадиях проектирования новых АНПА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакуменко Л.Г., Дядик А.Н., Рожков Ю.Е., Сурин С.Н. Экспериментальное обоснование использования литий-ионных аккумуляторных батарей в автономных необитаемых подводных аппаратах // Системы управления и обработки информации: науч.-техн. сб./АО «Концерн «НПО «Аврора». – СПб., 2019. – Вып. 3 (46). – С. 66–71.
2. Дядик А.Н., Замуков В.В., Дядик В.А. Корабельные воздухонезависимые энергетические установки – СПб.: Судостроение, 2006. – 424 с.
3. Агеев М.Д. и др. Автономные подводные роботы. Системы и технологии. – М.: Наука, 2005. – 400 с.
4. Дядик А.Н., Никифоров Б.В. Корабельные энергетические системы. – Новочеркасск: ЛИК, 2012. – 680 с.
5. Бакуменко Л.Г., Дядик А.Н., Сурин С.Н. Использование электрохимических генераторов на автономных необитаемых подводных аппаратах // Системы управления и обработки информации: науч.-техн. сб./АО «Концерн «НПО «Аврора». – СПб. – 2018. – Вып. 1 (40). – С. 50–55. ■

Использование диапазона сверхдлинных волн (СДВ) решает значительное число практических разноплановых задач. СДВ широко используются в системах радиосвязи, радионавигации, передаче сигналов эталонных частот и единого времени, а также в геофизических исследованиях электрических свойств Земли, земной ионосферы и магнитосферы Земли.

Сверхдлинные волны могут проникать в воду на большую глубину, и поэтому объекты, находящиеся под водой, могут принимать сообщения на СДВ, не всплывая.

СДВ радиостанции также используются для прогнозирования сильных землетрясений в различных точках земного шара. Дело в том, что излучаемые СДВ пронизывают не только толщу воды, но и земные недра. В результате анализа прохождения этих волн в земных недрах можно фиксировать изменения напряжения на стыках тектонических пластов и другие параметры. Имея такую картину, ученые-сейсмологи разработали методику определения координат предстоящего землетрясения, его силы и ориентировочного времени. СДВ станции могут также применяться для исследования геодинамики и поиска полезных ископаемых.

Мощность СДВ радиостанций весьма велика и составляет от сотен киловатт до единиц мегаватт. Поэтому задача повышения энергетической эффективности, улучшение массогабаритных показателей, надежности таких радиопередающих устройств (РПДУ) является первоочередной.

Решение данной задачи достигается путем использования в их предварительных и окончательных каскадах высокоэффективных ключевых режимов работы активных усилительных приборов классов D и E. В этих режимах усилительные приборы (большую часть времени их работы) находятся либо в состоянии насыщения, при котором они пропускают максимальный ток при минимальном остаточном напряжении, либо в состоянии отсечки, при котором они ток вообще не пропускают. В обоих случаях потери мощности в приборах минимальны.

Для анализа эффективности работы устройств СДВ диапазона в ключевых режимах классов D и E определим отличия и особенности этих режимов, а также присущие им потери мощности, определяющие в конечном итоге их энергетическую эффективность и коэффициент полезного действия (КПД) устройств.

В режиме класса D либо напряжение, либо ток выходной цепи мощного каскада усиления имеет форму прямоугольных импульсов (рис. 1). При этом

СФЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОСТАНЦИЙ СДВ ДИАПАЗОНА

Е.А. Рылов, ген. директор АО «ПКБ «РИО»,
контакт. тел. (812) 313 6181

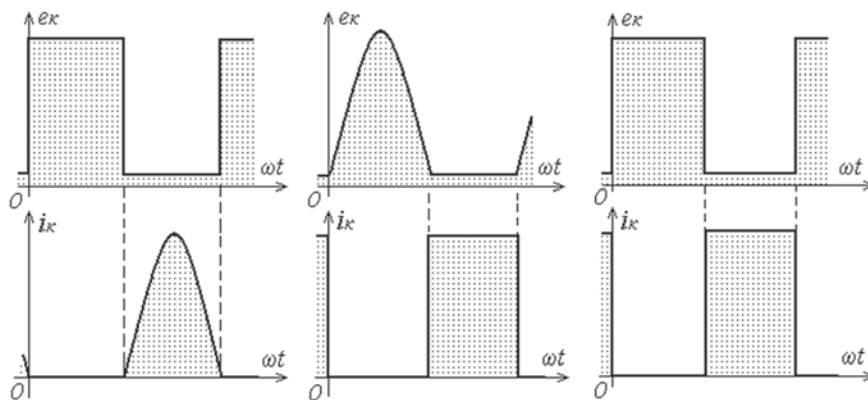


Рис. 1. Диаграммы формы выходных напряжений и токов каскадов усиления, работающих в режиме класса D

могут быть три варианта, а именно: прямоугольная форма напряжения, косинусоидальный импульс тока; косинусоидальная форма напряжения, прямоугольный импульс тока, либо оба – и напряжение, и ток – имеют прямоугольную форму импульса.

Отличительная особенность усиления в режиме класса E – отсутствие скачков напряжения (рис. 2), которое имеет место в режиме класса D (рис. 1) [1–4].

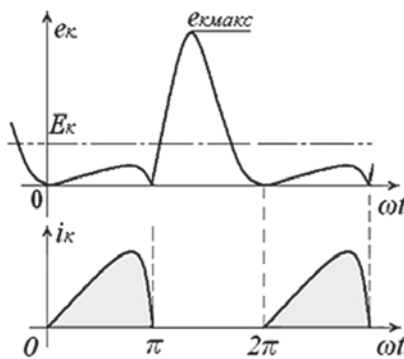


Рис. 2. Диаграммы формы выходных напряжений и токов каскадов усиления, работающих в режиме класса E

В качестве примера такого устройства может служить усилитель (рис. 3), нагрузочная цепь которого состоит из двухконтурной колебательной системы.

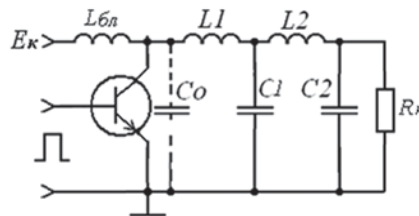


Рис. 3. Усилитель класса E

Первый контур усилителя – формирующий, имеет очень низкую добротность (порядка 2). Вторым – фильтрующий. Его назначение – выделить только первую гармонику. Настройка контуров иллюстрируется на рис. 4. Первый контур – формирующий, выбирается с резонансной частотой, лежащей между первой и второй гармониками коллекторного тока. Поэтому его реакция на основной частоте имеет индуктивный характер.

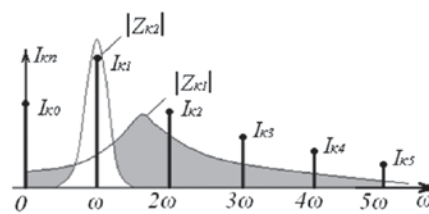


Рис. 4. Спектр тока усилительного прибора и характеристики колебательных контуров

При запираании транзистора (см. рис. 3) в индуктивности $L_{бл}$ возникает ЭДС с резонансной частотой формирующего контура. Эквивалентное сопротивление подбирается так, чтобы к моменту отпирания транзистора напряжение на коллекторе оказалось равным нулю. В этот момент включается транзистор. Как только он включается, ток коллектора начинает нарастать по экспоненте, поскольку сопротивление формирующего контура имеет индуктивный характер. Коммутационные потери, величина которых будет определена ниже, обусловленные выходной емкостью C_0 , будут равны нулю, а электронный КПД=100%. Расстройка формирующего контура, как правило, невелика, поэтому снижения активной мощности и КПД

усилителя, обусловленного комплексным характером нагрузки, практически не происходит. Фильтрующий контур выделяет напряжение первой гармоники. В результате удается получить КПД существенно выше 90%.

С целью определения энергетической эффективности усилителей класса D и E проанализируем характер и уровень потерь мощности в усилительных приборах, присущие этим режимам.

Одним из основных видов потерь мощности в усилительных переключающих приборах ключевых устройств являются потери мощности $P_{нас}$ за счет остаточного напряжения на их внутренних сопротивлениях (сопротивлениях насыщения $R_{нас}$), определяемых крутизной линии граничного режима $R_{нас} = R_{гр} = 1/S_{гр}$ [1, 2, 8]. Для определения мощности потерь $P_{нас}$ на усилительном приборе за счет остаточного напряжения находятся квадраты эффективных значений токов $I_{эф}$ через эти приборы. При этом мощность потерь

$$P_{нас} = I_{эф}^2 R_{нас}. \quad (1)$$

Существенным фактором, вызывающим дополнительные потери в ключевых усилителях D и E, являются потери на фронтах импульсов, возникающие из-за того, что в моменты включения ток в них не мгновенно достигает расчетного значения $i_{a,max}$, а за некоторое время $\tau_{вкл,max}$. При этом напряжение на усилительном приборе падает от начального значения $u_{a,вкл}$ до напряжения $u_{a,ост}$. Для оценки величины связанных с этим мощности потерь изменения тока и напряжения на усилительном элементе аппроксимируется прямыми линиями (рис. 5):

$$i_a(t) = t(i_{a,max} / \tau_{вкл,max}) - S_i(t), \quad (2)$$

где S_i – скорость нарастания тока в усилительном приборе до своего максимального значения,

$$u_a(t) = (u_{a,вкл} - u_{a,ост})(1 - t/\tau_{вкл}) + u_{a,ост} \approx u_{a,вкл}(1 - t/\tau_{вкл}) + u_{a,ост} \approx u_{a,вкл} \left(1 - \frac{t}{\tau_{вкл}}\right), \quad (3)$$

$$0 \leq t \leq \tau_{вкл}.$$

Мощность потерь в процессе включения, усредненная за период рабочей частоты,

$$P_{вкл} = \frac{1}{T_T} \int_0^{\tau_{вкл}} u_a(t) i_a(t) dt = \frac{\tau_{вкл}^2 S_i}{6T_T} u_{a,вкл} (1 + 2u_{a,ост} / u_{a,вкл}) \approx \tau_{вкл}^2 S_i u_{a,вкл} / 6T_T.$$

Если принять, что время включения $\tau_{вкл}$ усилительного прибора равно времени выключения $\tau_{выкл}$ (см. рис. 5), то мощность потерь (4) за период рабочей частоты удвоится:

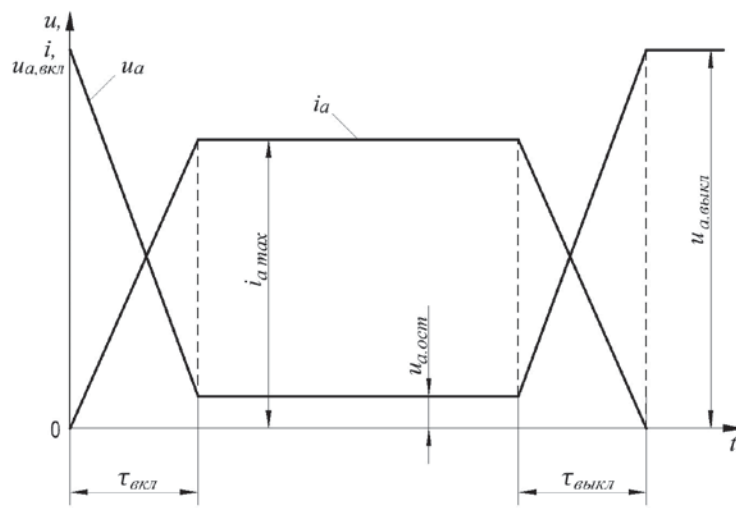


Рис. 5. Аппроксимация формы импульсов тока i и напряжения u усилительного прибора отрезками прямых линий

$$P_{ф} = 2P_{вкл} = \tau_{вкл}^2 S_i u_{a,вкл} / 3T_T. \quad (5)$$

Активные приборы (транзисторы, электровакуумные приборы и т.д.) ключевых усилителей обладают паразитной выходной емкостью $C_{пар}$ (рис. 6, а), которая за период рабочей частоты T (в интервале времени запертого состояния активного прибора) заряжается до напряжения u_{max} (рис. 6, б).

Во время отпертого состояния активного прибора емкость $C_{пар}$ разряжается через усилительный прибор.

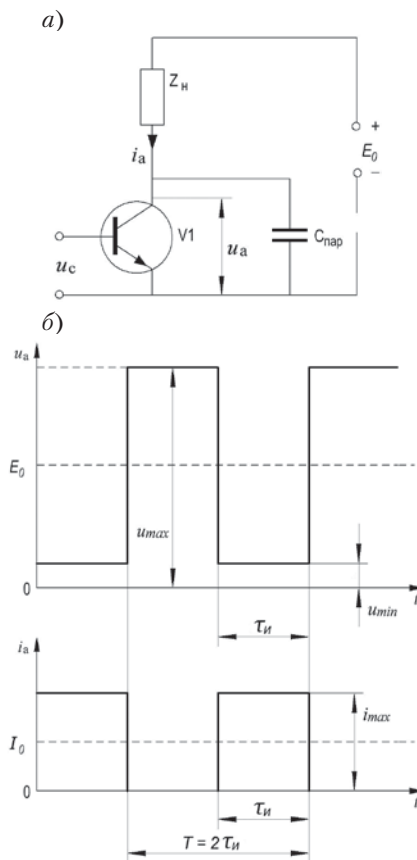


Рис. 6. Схема ключевого усилителя с паразитной емкостью $C_{пар}$ (а) и эпоры напряжения u_a и тока i_a транзистора V1 (б)

Мощность потерь на активном приборе, обусловленная данным процессом,

$$P_{c.a.} \approx 0,5C_a E_a^2 f_T = C_a \omega_T E_a^2 / 4\pi = 0,25E_a^2 / \pi x_c, \quad (6)$$

$$x_c = 1/\omega_T C_a; \quad \omega_T = 2\pi f_T.$$

Энергетическая эффективность ключевых усилителей (генераторов) (КПД) с учетом (1), (5), (6) определяется как

$$\eta = P_{н} / (P_{н} + P_{ф} + P_{нас} + P_{c.a.}), \quad (7)$$

где $P_{н}$ – полезная мощность в нагрузке ключевого усилителя (генератора).

При проектировании радиостанций СДВ диапазона, выборе структурной и принципиальной схем следует проводить детальный анализ режимов работы усилительных приборов с целью получения наивысшего значения (7) энергетической эффективности устройств. В ряде режимов (например, класс E) из-за того, что переключение активных приборов происходит при нулевом значении напряжения на приборе (см. рис. 2), потери мощности $P_{c.a.}$ отсутствуют. Однако в ряде случаев другие виды потерь мощности в режиме E могут превосходить потери, присущие режиму D. Поэтому предпочтение в выборе режима класса E без соответствующих расчетов не является однозначным.

Как было отмечено выше, радиопередающие устройства (РПДУ) СДВ диапазона выполняют существенный ряд практических разноплановых задач. Исходя из этого, оконечные каскады РПДУ могут быть построены на различных усилительных (активных) приборах, работающих в ключевых режимах. В настоящее время практически все работающие на территории Российской Федерации мощные РПДУ в СДВ диапазоне построены с использованием электровакуумных или газоразрядных приборов.

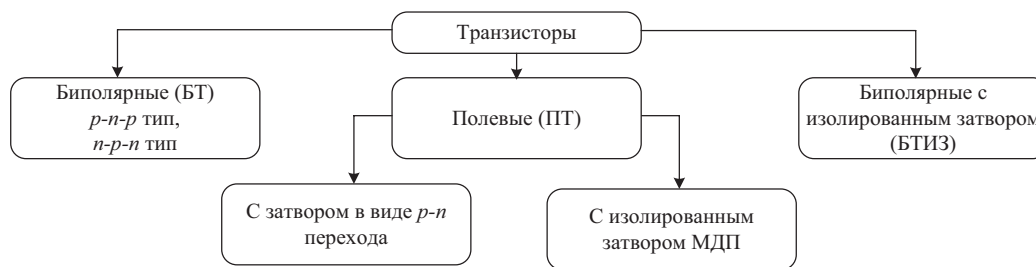


Рис. 7. Классификация основных типов транзисторов

Отечественная промышленность разработала и серийно выпускает современные высокоэффективные электровакуумные приборы (тетроды) различной мощности (ГУ-94А,В,П мощностью 150 кВт, ГУ-104АМ мощностью 250 кВт), имеющие воздушное, пароиспарительное и водяное охлаждение. Использование данных приборов позволяет построить РПДУ СДВ диапазона на мощности до единиц мегаватт с промышленным КПД, превышающим 90%.

Также отечественная промышленность выпускает мощные газонаполненные электронные приборы – тиратроны, игнитроны. Данный вид усилительных приборов имеет по сравнению с другими приборами существенно более низкое значение сопротивления насыщения, что позволяет получить КПД СДВ передатчиков, превышающее 95%. Например, тиратрон ТГИ1-10000/25 производства ОАО «НИИ ГРП «Плазма» [5] обеспечивает напряжение анода 25 кВ и ток анода в импульсе 10 кА. Время возникновения ионизации у таких водородных тиратронов – около 0,1 мкс, а время деионизации – около 25 мкс. Максимальная рабочая частота ограничивается 15–20 кГц. Также в настоящее время разработаны отечественные тиратроны с ненакаливаемым катодом (например, ТПИ1 10к/50 [6]). Отсутствие накаливаемого катода обеспечивает тиратрону более однородное распределение плотности газа по объему прибора и, следовательно, меньшее время коммутации. Максимальная рабочая частота оконечных каскадов СДВ РПДУ, построенных на таких приборах, достигает 25 кГц.

В то же время происходит постоянное развитие мощных полупроводниковых приборов: увеличиваются максимальные мощностные характеристики, растет надежность и уменьшается их стоимость. Эти факторы позволяют рассматривать замену электровакуумных приборов в выходных каскадах РПДУ на твердотельные элементы. Из широкой номенклатуры выпускаемых отечественной промышленностью транзисторов (рис. 7) наиболее перспективным в данном случае следует считать использование полевых транзисторов с

управляющим р–п-переходом и с изолированным затвором.

MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) – полевой транзистор с изолированным затвором. Большинство MOSFET рассчитаны на максимальное напряжение в сотни вольт – единицы киловольт. Рабочие частоты мощных MOSFET достигают единицы мегагерц.

MOSFET в качестве управляемых силовых ключей имеют следующие достоинства по сравнению с другими полупроводниковыми приборами:

- более простые системы управления и малую мощность управления;
- отсутствие инжекции неосновных носителей и, следовательно, явления накопления их в виде объемного заряда, а значит, и отсутствие так называемого времени рассасывания, что значительно улучшает динамические свойства транзистора;
- отсутствие саморазогрева полевого транзистора, характерного для биполярных транзисторов, а следовательно, хорошую термостойкость, что позволяет проще решать проблему параллельного включения нескольких транзисторов;

IGBT (Insulated gate bipolar transistor) – биполярный транзистор с изолированным затвором. Появление IGBT напряжением более 1,7 кВ (например, отечественный образец IGBT – MIDA-HB17FA-450N напряжением коллектор-эмиттер 1700 В и номинальным током коллектора 450 А производства АО «Протон-Элетротекс» [8]) позволило проектировать радиочастотные генераторы с рабочей частотой, превышающей 150 кГц.

Таким образом, IGBT на сегодняшний день представляют самыми перспективными активными элементами для использования в качестве силовых управляемых ключей в диапазоне мощностей от сотен киловатт до единиц мегаватт.

Как показывает практика, при замене ламповых генераторов на современные транзисторные генераторы СДВ диапазона при сопоставимой производственной программе за одинаковый

период уменьшается потребление энергии в среднем в 2–3 раза, увеличивается ресурс работы РПДУ. Кроме того, снижаются затраты на производственные площади, упрощается организация охлаждения РПДУ.

Промышленный КПД РПДУ на полупроводниковых приборах может достигать 90 %.

Активное развитие полупроводниковых приборов для мощных генерирующих устройств в части повышения предельных коммутируемых мощностей, а также освоение их производства отечественной промышленностью делает целесообразным построение новых мощных РПДУ СДВ диапазона на полупроводниковой элементной базе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артым А.Д. Ключевые генераторы гармонических колебаний. – Л.: Энергия, 1972. – 168 с.
2. Сырников Э.В. Построение ключевых радиопередающих устройств большой мощности. – СПб.: Изд. Политех. ун-та, 2013. – 167 с.
3. Артым А.Д. Повышение эффективности мощных радиопередающих устройств. – М.: Радио и связь, 1987. – 176 с.
4. Артым А.Д. Усилители класса D и ключевые генераторы в радиосвязи и радиовещании. – М.: Связь, 1980. – 209 с.
5. ОАО НИИ ГРП «Плазма». Тиратрон ТГИ1-10000/25. – URL: http://www.plasmalabs.ru/files/products/1_10000_25.pdf (дата обращения: 30.08.2018).
6. Akimov A. V., Bak P. A., Kazarezov I. V. et al. Investigation of cold cathode TP11-10k/50 thyatron parameters at voltage up to 50 kV, current up to 10 kA, pulse duration of hundred nanoseconds // Problems of Atomic Science and Technology. – Series: Nuclear Physics Investigations. – 2006. – №.3(47). – P. 92–94.
7. Девяткин Д.В., Николаев В.В., Николаев Р.В. Сравнительный анализ активных элементов для построения оконечных каскадов высокоэффективных РПДУ СДВ диапазона // Вестник связи. – 2019. – №11.
8. Николаев В.В., Рылов Е.А., Девяткин Д.В., Николаев Р.В. Качественный анализ процессов переключения в модуляторах класса D // Вестник связи. – 2020. – №3. ■

Хорошо известно, что при проектировании теплонагруженной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) одним из ключевых факторов, напрямую влияющих на надежность ее работы, является температура окружающей среды. Статические преобразователи в составе корабельных систем компенсации магнитных полей корпусных конструкций характеризуются прежде всего продолжительностью работы, составляющей до 5000 часов, а помещения, в которых размещаются приборы с высоким тепловыделением, – крайне ограниченным и замкнутым объемом.

Кроме этого, при разработке статических преобразователей, предназначенных для использования в качестве бортовых источников на кораблях малого водоизмещения, перед специалистами стоит задача обеспечить их минимально возможные габариты при их максимальной энергоэффективности. Поэтому выбор оптимальных тепловых режимов работы аппаратуры зачастую представляет собой многофакторную проблему с большим набором противоречивых факторов, особенно если это касается конструкций типа «стойка», «шкаф» и аналогичных с высоким уровнем иерархии входящих составных частей.

Проблема усугубляется еще и тем, что, несмотря на успехи в области разработки элементной базы с повышенной энергоэффективностью, сниженными тепловыми потерями, увеличенными допустимыми рабочими частотами и предельно допустимыми температурами эксплуатации, отечественная силовая электроника пока еще далека от миниатюризации размеров элементной базы. Тем не менее, поскольку требования к обеспечению качества и надежности функционирования изделий становятся все жестче, а сроки проектирования, назначаемые заказчиками, все меньше, часто возникает потребность в освоении новых методов тепловых расчетов и проектирования.

Предприятием АО «НПФ «Меридиан» была проведена научно-исследовательская работа «Анализ температурных режимов статических преобразователей для систем компенсации магнитных полей корабельных корпусных конструкций и выработка путей модернизации с учетом возможности их использования в тропических условиях». Цель данной НИР состояла в выработке методик сокращения сроков и повышения качества разработки новой техники и модернизации эксплуатируемой за счет использования современного программного обеспечения в сфере теплового моделирования. Одним из важных этапов проведения данной работы стало сравнение полученных данных при аналитическом расчете и моделировании виртуальных

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИИ ДАННЫХ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ЭМПИРИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

И.В. Онорин, инженер-конструктор 1-й категории,
Б.Ю. Семенов, гл. конструктор СКЭМП,
Р.Н. Кобрян, начальник конструкторского отдела,
АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 0375, доб. 512, 134, 511

тепловых моделей с данными, полученными в результате натурных испытаний исследуемых приборов.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

Известно, что теплообмен в РЭА представляет собой сложный теплофизический процесс, включающий в себя передачу тепловой энергии посредством теплопроводности, конвекции и теплового излучения. Расчет теплового обмена аппаратуры в целом, когда действуют одновременно два или три процесса переноса тепла между множеством тел сложной геометрической формы, может осуществляться в соответствии с выражением

$$\Phi = \alpha S \Delta\theta,$$

где Φ – отводимый тепловой поток, Вт; α – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплообмена, Вт/(м²К) (для теплопроводности – $\alpha_{\text{т}}$, для конвекции – $\alpha_{\text{к}}$, для излучения – $\alpha_{\text{л}}$); S – площадь поверхности теплообмена, м²; $\Delta\theta$ – перепад температур между двумя изотермическими поверхностями в теле или между двумя телами (1 и 2), в том случае, когда рассматривается перепад между телом 1 и средой 2, этот параметр называется перегревом ϑ .

Данное выражение, на первый взгляд, кажется предельно простым, однако в практических расчетах использование этого выражения невозможно из-за больших методических и математических трудностей, возникающих при переходе к рассмотрению теплообмена между телами сложной формы. Это обстоятельство является одной из причин применения для тепловых расчетов приближенных аналитических, численных и графоаналитических методов, физического и математического моделирования и методов аналогии.

Объектом исследования в настоящей работе послужил прибор статического преобразования электроэнергии с функцией стабилизации тока и выходной мощностью 12 кВт, предназначенный для питания обмоток корабельных

систем компенсации магнитных полей корпусных конструкций. Он входит в состав серийно поставляемого изделия АО «НПФ «Меридиан».

Главная составная часть прибора – блок инвертора (рис. 1) с мощными сборками транзисторов типа IGBT, расположенными на двух сопряженных радиаторах (рис. 2).

Основные теплонагруженные элементы прибора: две группы дросселей выходного фильтра и две транзисторные сборки IGBT.

Первоначальный вариант статического преобразователя имел высоту 1500 мм, и в ходе модернизационных работ высота данного прибора была уменьшена до 1200 мм. При этом сохранились прежние параметры тепловыделения. Данный факт повлек за собой необходимость нового теплового расчета для подтверждения заданных характеристик надежности.

Для оценки теплового режима на первом этапе следует задать основные характеристики прибора:

- тип конструкции корпуса – негерметичный;
- допустимый перегрев $\vartheta_{\text{вдоп}}$, К;
- объем прибора V , мм³;
- габаритные размеры $L_1 \times L_2 \times H$;
- коэффициент заполнения $K_{\text{зап}}$;
- рассеиваемая мощность Φ , Вт (макс. оценочная единица);
- макс. температура среды $\theta_{\text{с}} = 318^\circ\text{K} (+45^\circ\text{C})$;
- перегрев на входе в прибор $\vartheta_{\text{вх}}$, К;
- степень черноты корпуса ϵ , о. е.

С помощью типового аналитического метода [1] была выполнена упрощенная оценка теплового режима путем определения:

- коэффициента формы в целом $K_{\text{о}} = H / \sqrt[3]{V}$;
- коэффициента основания $K_{\text{осн}} = \frac{L_1}{L_2}$;
- поверхности, эквивалентной нагреваемой зоне (НЗ)

$$S_3 = \sqrt[3]{V^2} \times (2 / K_{\text{о}} + 4 K_{\text{зап}} \times \sqrt{K_{\text{о}}});$$

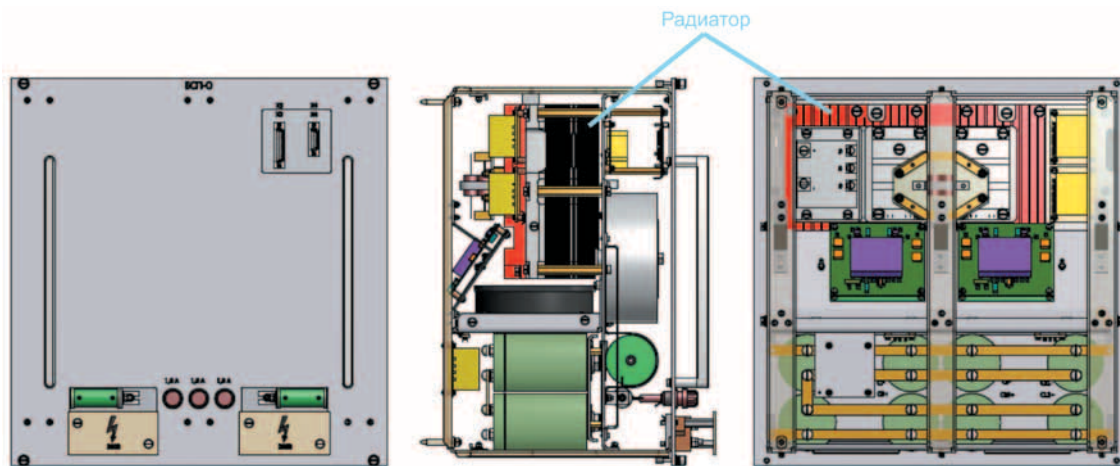


Рис. 1. Внешний вид блока, входящего в прибор

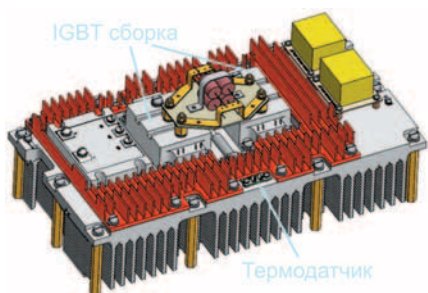


Рис. 2. Внешний вид радиатора в блоке

– удельного теплового потока с единицы поверхности, эквивалентного НЗ,
 $q_3 = \Phi / S_3$.

По графику рис. 3 был определен перегрев для РЭА при естественной вентиляции (ЕВ) путем сравнения значения $\vartheta_{\text{вдоп}}$ и $M[\vartheta_{\text{в}}]$, где $M[\vartheta_{\text{в}}]$ – математическое ожидание перегрева.

Был рассчитан перегрев при заданном объемном расходе воздуха для теплового режима с принудительной вентиляцией (ПВ) путем задания трех произвольных значений объемного расхода воздуха вентилятора G_v : (G_{v1} , G_{v2} , G_{v3}) и вычислен удельный объемный расход охлаждающего воздуха для трех точек g_{v1} , g_{v2} , g_{v3} по формуле $g_v = G_v \times 10^3 / \Phi$, м³/((ч × кВт).

По графику рис. 3 для случая с ПВ были найдены значения перегревов ϑ_{31} , ϑ_{32} , ϑ_{32} и построен график $G_v = f(\vartheta_3)$ (рис. 4), по которому для $\vartheta_3 = 0,9 \times \vartheta_{3\text{доп}}$ был найден минимальный допустимый объемный расход воздуха вентилятора $G_v \geq 250$ м³/ч.

В рассматриваемом приборе имелось два вентилятора номинальной производительностью 280 м³/ч каждый. Таким образом, согласно данному расчету в приборе имелся двукратный запас по ПВ.

Основными теплонагруженными элементами в приборе являются транзисторные IGBT сборки. В рамках данной аналитической проработки для полной оценки тепловых режимов прибора был проведен теоретический расчет площади радиатора (см. рис. 2).

Одним из базовых условий расчета была принята температура окружающей среды, равная 45 °С. За основу была взята теория тепловых цепей, говорящая о том, что между протеканием тепла через твердые тела и электрического тока через проводник существует аналогия. Аналогом температуры является электрический потенциал, теплового потока (рассеиваемой мощности) – электрический ток. При этом уравнение тепловой характеристики будет тождественно математическому вы-

ражению закона Ома, а коэффициенты R – электрическому сопротивлению.

Для упрощения тепловых расчетов используется тепловая модель охлаждения (рис. 5) [2].

На рис. 5 – предельная температура кристалла.

Согласно паспортным данным на IGBT модуль $T_j = 150$ °С; температура окружающей среды $T_A = 5$ °С; тепловое сопротивление «кристалл–корпус»; согласно паспортным данным на IGBT модуль

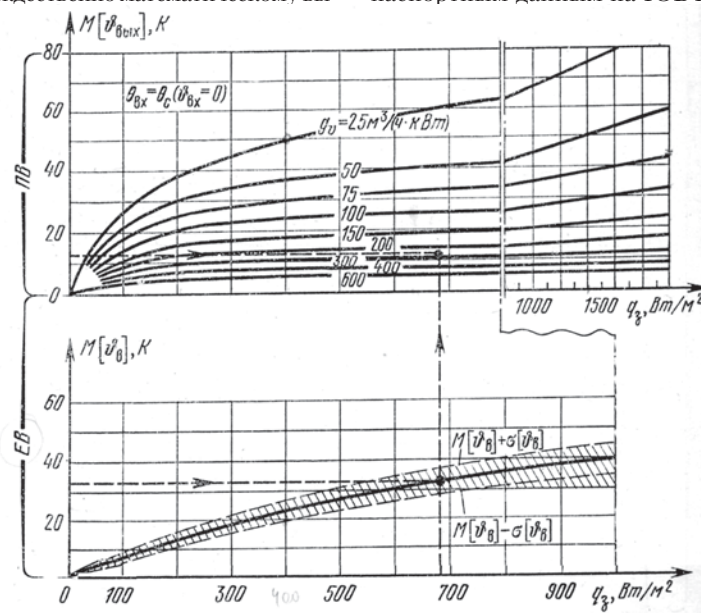


Рис. 3. График зависимости математического ожидания перегрева от удельного теплового потока с единицы поверхности, эквивалентного нагретой зоне (НЗ)

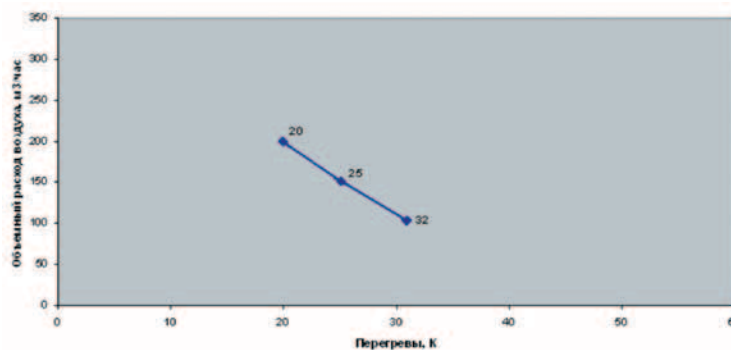


Рис. 4. График зависимости перегрева от объемного расхода воздуха

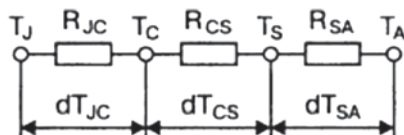


Рис. 5. Эквивалентная схема теплового закона Ома

$R_{JC} = 0,09 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; R_{CS} – тепловое сопротивление «корпус–радиатор», принятое $R_{CS} = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ для пасты КПТ-8 со слоем 0,1 мм при 1 дм² площади соприкосновения; R_{SA} – тепловое сопротивление «радиатор–окружающая среда».

Далее было найдено значение суммарного теплового сопротивления R_{JA} . Здесь J_A в индексе на участке «кристалл–окружающая среда»:

$$R_{JA} \leq (T_J - T_A) / P_{\text{III}}$$

где P_{III} – мощность, рассеиваемая на кристалле полупроводникового прибора, Вт; R_{SA} – тепловое сопротивление «радиатор–окружающая среда»;

$$R_{SA} = R_{JA} - R_{JC} - R_{CS}$$

Зная максимальную температуру кристалла T_J и тепловое сопротивление на участке «кристалл–радиатор» ($R_{JC} + R_{CS}$), определим максимальную температуру радиатора:

$$T_S = T_J - P_{\text{III}} (R_{JC} + R_{CS})$$

По графику рис. 6 определили поправочный коэффициент K_T на разницу температуры радиатора и окружающей среды.

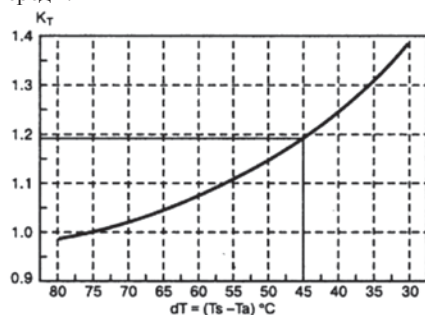


Рис. 6. График поправочного коэффициента K_T на разницу температуры радиатора и окружающей среды

Для охлаждения радиатора использовался вентилятор производительностью $q = 280 \text{ м}^3/\text{ч}$. Чтобы вычислить скорость потока, нужно разделить производительность на сечение воздуховода, продуваемого вентилятором.

Если воздуховод имеет площадь поперечного сечения $S, \text{ м}^2$, то скорость воздушного потока $V = q/S/3600 \text{ м/с}$.

По графику рис. 7 определили поправочный коэффициент K_V на реальную скорость воздушного потока.

Поскольку в составе прибора имеется два вентилятора, то поправочный коэффициент $K_{V_{\text{общ}}} = K_{V1} + K_{V2}$.

По графику рис. 8 определили поправочный коэффициент K_L на длину ради-

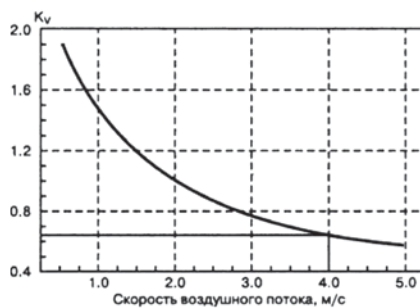


Рис. 7. График поправочного коэффициента K_V на реальную скорость воздушного потока

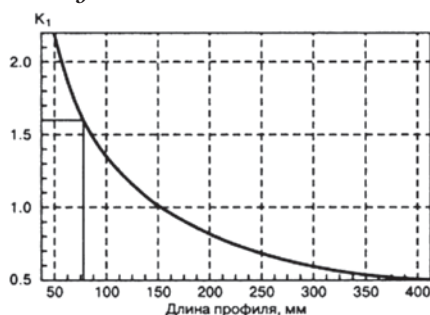


Рис. 8. График поправочного коэффициента K_L на длину радиатора

атора. Общая поправка определяется, как произведение поправочных коэффициентов:

$$K = K_T \times K_{V_{\text{общ}}} \times K_L$$

Таким образом, с учетом определенных выше поправок радиатор должен обеспечивать тепловое сопротивление не более чем $R_{SA,K} = R_{SA}/K$.

С помощью графика рис. 9 было найдено требуемое значение сечения периметра радиатора $P_s, \text{ мм}$, для одного модуля IGBT. При использовании двух модулей IGBT общий теоретический периметр

$$P_{s_{\text{общ теор}}} = P_{s1} + P_{s2}$$

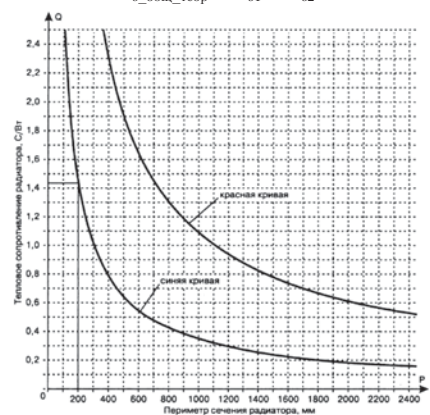


Рис. 9. График зависимости между сечением алюминиевого радиатора и его тепловым сопротивлением

Фактический периметр радиатора в блоке $P_s = S/L$, где S – площадь радиатора, мм², L – длина радиатора, мм. В итоге оказалось, что $P_{s_{\text{общ теор}}}$ меньше P_s на 11,5%.

Теоретический расчет показал, что для рассматриваемого прибора имеет-

ся достаточный запас по ПВ, а радиатор имеет достаточную, но близкую к предельной, площадь излучения.

ТЕПЛОВЫЙ РАСЧЕТ ПРИБОРА СРЕДСТВАМИ ПКМКЭ

В качестве основного программного обеспечения при выполнении данного расчета использовались программный комплекс, основанный на методе конечных элементов (ПКМКЭ), а также программа твердотельного моделирования объектов (ПОТМ), с помощью которой была создана рабочая трехмерная модель прибора.

ПКМКЭ представляет собой программный комплекс для решения задач гидрогазодинамики, включая моделирование ламинарных и турбулентных течений жидкости и газа с расчетом процессов теплообмена. ПКМКЭ основан на МКЭ. Расчет МКЭ выполняется путем разделения реального объекта на большое количество конечных элементов, достигающих сотен тысяч, например, кубов малого объема. Математические уравнения позволяют прогнозировать поведение каждого элемента по отдельности, а полученные результаты с привязкой к трехмерным координатам в объеме расчетной модели используются для прогнозирования поведения объекта в целом.

Жизненный цикл виртуальной тепловой модели прибора в ПКМКЭ включает в себя следующие шаги:

- проверка и настройка виртуальной геометрии объемов;
- назначение физических свойств материала элементов, включающих такие параметры, как коэффициент теплопроводности материала, плотность материала, коэффициент скольжения вентилятора и т. д.;
- назначение свойств объемов и поверхностей элементов (поверхностей и объемов элементов, выделяющих тепловую энергию или направляющую влияющих на циркуляцию воздушных потоков);
- назначение размера сетки конечных элементов геометрии, определяющего точность расчета и напрямую влияющего на время расчета;
- настройка параметров расчета (количество итераций расчета, выбор режимов автоматической принудительной конвекция и излучения и т. д.)
- расчет;
- анализ расчета.

Визуальные результаты тепловых расчетов при имитации температуры окружающей среды в +45 °С представлены на рис. 10.

Сверху на рис. 10 отображаются панель графика сходимости и фактическое значение итераций расчета. Разра-

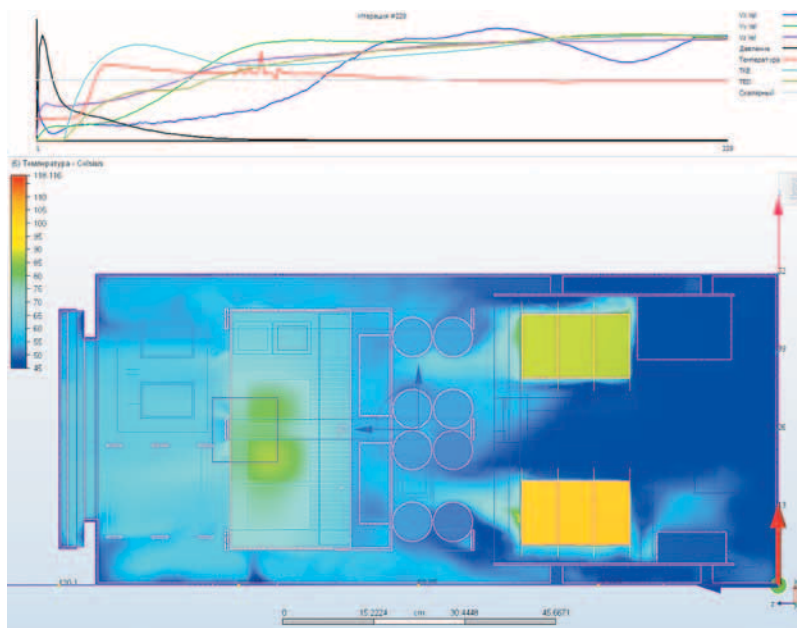


Рис. 10. Результаты тепловых расчетов прибора. Распределение температур в объеме. Вид прибора спереди

ботчику предоставлена возможность визуально наблюдать ход моделирования в виде графиков сходимости результата. На данном рисунке хорошо видно, что на начальной стадии расчета результаты существенно меняются от одной итерации к другой, линии сходимости могут колебаться вверх и вниз. Установление линий сходимости на горизонтальном уровне, без всплесков и колебаний, показывает, что результаты расчета достигли «теплого равновесия» и решение является «сходимым».

Данная сходимость результата – необходимое условие получения правильного решения задачи. Шкала градиента цвета позволяет разработчику визуально определить области распределения температур, области плотности распределения теплоносителя и его скорость.

При исследовании виртуальной

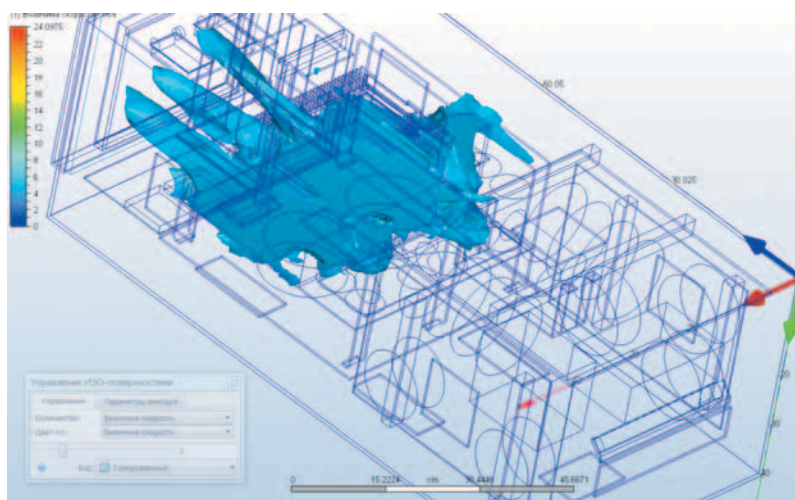


Рис. 11. Результаты тепловых расчетов прибора. Картина распределения воздушных потоков

тепловой модели статического преобразователя в ПКМКЭ (рис. 11) установлено, что вблизи радиатора скорость воздушного потока составляет от 4 до 6 м/с. Эти данные соответствуют расчетным теоретическим значениям, полученным ранее.

НАТУРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИБОРА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Натурные тепловые испытания прибора проводились на территории испытательной станции АО «НПФ «Меридиан» в аттестованной камере тепла и влаги КТВ-25. Результаты их представлены на рис. 12. Данные испытания проводились при температуре окружающей среды +40 °С. Однако, как показали дальнейшие исследования, функция температуры теплонагруженных элементов имеет прямолинейную зависимость, т. е. при увеличении температуры

окружающей среды на 5 °С от базового значения, температура элементов прибора также пропорционально увеличится на 5–6 °С.

Итоговые экспериментальные данные тепловых испытаний статического преобразователя приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сводная таблица результатов тепловых испытаний прибора, °С

Прибор	Данные	
	из ПКМКЭ (виртуальные испытания)	натурных испытаний
Радиатор	79	69
Группа дросселей	97,3	105
Область термодатчика	64	65,3

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В данном разделе изложены результаты модернизации статического преобразователя с целью обеспечения его надежной работы при повышенной температуре окружающей среды (+50 °С). В рамках модернизации прибора были проведены следующие мероприятия (рис. 13):

- осуществлена полная конструктивная перекомпоновка прибор;
- заменены сами транзисторные сборки IGBT с немного увеличенным тепловыделением, но также увеличенным запасом тепловой прочности ($T_{\text{кристалла}} = 175 \text{ °С}$ вместо $T_{\text{кристалла}} = 150 \text{ °С}$).

Далее, минуя стадию аналитического расчета, был проведен тепловой расчет средствами ПКМКЭ. Визуальные результаты тепловых расчетов при имитации температуры окружающей среды в +45 °С представлен на рис. 14.

Таблица 2

Сводная таблица результатов тепловых испытаний прибора после его модернизации, °С

Прибор	Данные	
	из ПКМКЭ (виртуальные испытания)	натурных испытаний
Радиатор	67	73
Подложка IGBT модуля	65	79
Дроссель	56	67
Область термодатчика	58	72

В табл. 2 приведены сводные результаты тепловых испытаний модернизированного статического преобразователя, полученных как в ПКМКЭ, так после его натурных испытаний в камере тепла и влаги КТВ-25.

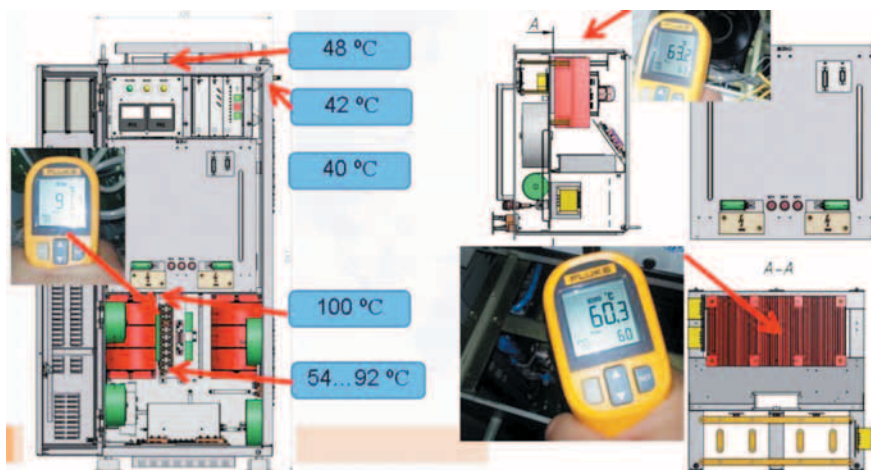


Рис. 12. Результаты натурных тепловых испытаний прибора (приведены показания пирометра марки Fluke 59)

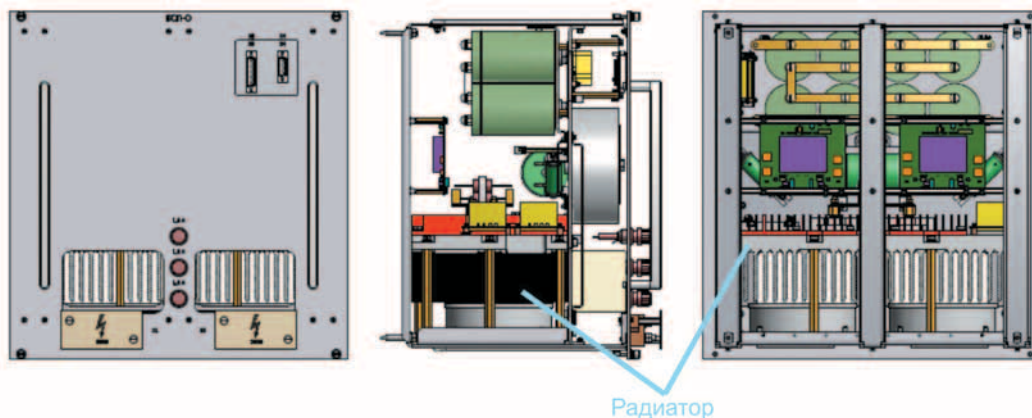


Рис. 13. Внешний вид модернизированного блока инвертора

ВЫВОДЫ

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- применение приближенного аналитического метода при анализе теплообмена в проектируемых статических преобразователях носит исключительно оценочный характер, поскольку учет всех факторов, влияющих на тепловой режим работы аппаратуры, является чрезвычайно трудоемкой задачей; при любом упрощении аналитической модели вероятность получения адекватной картины распределения тепловых нагрузок неизбежно снижается;
- использование программного обеспечения типа ПКМКЭ в работе разработчиков-конструкторов при проведении тепловых расчетов позволяет резко снизить временные трудозатраты, связанные с моделированием, анализом теплообмена, и существенно повысить их качество, при этом вероятность получения результата, близкого к реальному, достаточна для инженерных расчетов.

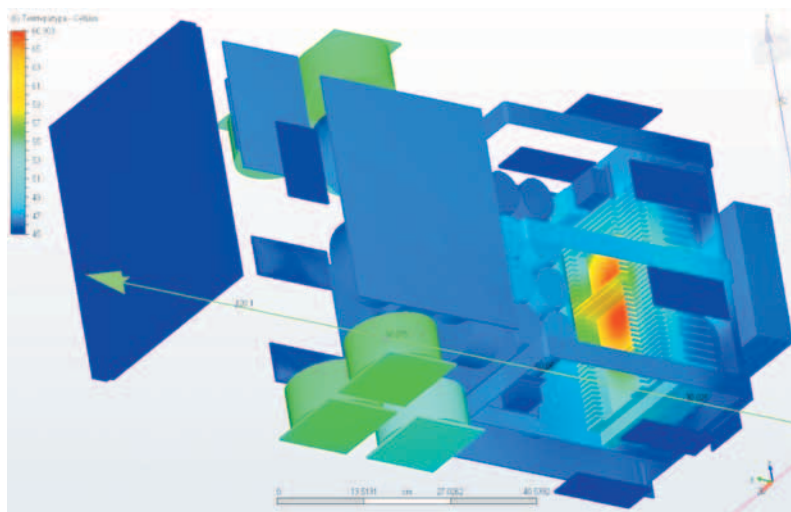


Рис. 14. Результаты тепловых расчетов модернизированного прибора. Трехмерная модель. Распределение температур в объеме

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник конструктора РЭА/Под ред. Р. Г. Варламова. – М.: Советское радио, 1980.
2. Корякин-Черняк С. Л., Партала О. Н., Давиденко Ю. Н., Володин В. Я. Электротехнический справочник. – СПб.: Наука и техника, 2009. – 464 с.
3. Семенов Б. Ю., Кодрян Р. Н., Воробьев

О. Ф., Бондарец А. В. Моделирование потока теплообмена для прогнозирования температуры электронных элементов изделия с целью улучшения эксплуатационных характеристик и повышения надежности изделия в средах с повышенной температурой окружающей среды // Морской вестник. – 2019. – № 4 (72). – С. 71–73. ■

За последние годы в нашей стране существенно возросло число аварий плавучих доков, в том числе с тяжелыми последствиями [1]. Особенно привлекает внимание ряд происшествий с затоплением плавучих доков в результате серьезных повреждений корпуса [2–7], не говоря уже о менее заметных авариях, которые благодаря только благоприятному стечению обстоятельств не имели такого драматического финала и, соответственно, не привлекли столь пристального внимания.

Анализ этих аварий и их последствий заставляет обратить внимание прежде всего на то, что общим для них является возраст «пострадавших», который колеблется от 30 – 40 лет у ПД «Паллада» и ПД-50 до почтенных 60 – 80 лет у ПД-11 и ПД-16. При этом во всех сообщениях об этих происшествиях обязательно отмечалась в качестве одной из основных причин аварий продолжительный срок эксплуатации этих доков.

Однако реальный, а не расчетный срок службы плавучих доков, так же как и судов, кораблей и других плавучих сооружений, как правило, определяется их техническим состоянием, которое существенно зависит от конструктивных особенностей сооружения, условий эксплуатации и, что особо важно, от отношения к нему владельца.

Примером удачных конструктивных решений, благоприятных условий эксплуатации плавучих доков и бережного к ним отношения являются металлический плавучий док, прослуживший на АО «Адмиралтейские верфи» до 102 лет, а также эксплуатирующийся в Хабаровске плавучий док, построенный заводом «Сормово» в 1910 г. (рис. 1).



Рис. 1. Металлический плавучий док грузоподъемностью 1000 т, построенный в 1910 г.

а)



в)



б)



г)



д)



Рис. 3. Судоподъемные сооружения докового типа: а – самоподъемная баржа «Атлант»; б – транспортно-подъемный плавучий док «Сакура»; в – транспортно-подъемный плавучий док «Итарус»; г – транспортный плавучий док «Свияга»; д – передаточный плавучий док «Вымпел»

АНАЛИЗ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛАВУЧИХ ДОКОВ

А.Г. Смирнов, д-р техн. наук, зам. гл. конструктора АО «ЦМКБ «Алмаз», контакт. тел. (812) 373 0292

Это, конечно, можно отнести к хорошим исключениям из правил, поскольку они эксплуатируются в пресной воде, а их корпуса имеют клепаную конструкцию, так же как корпуса двух плавучих доков на Северной Двине в Архангельске, эксплуатирующиеся уже 58 и 60 лет при расчетном сроке службы всего 25 лет. Также нужно упомянуть о деревянном плавучем доке, эксплуатировавшемся Камским речным пароходством более 60 лет, и об одном из серии железобетонных плавучих доков, построенном в Ленинграде Всесоюзным трестом по железобетонному судостроению «Докводстрой» в 1933 г., который и сегодня эксплуатируется в Санкт-Петербурге (рис. 2).



Рис. 2. Железобетонный плавучий док грузоподъемностью 4000 т, построенный в 1933 г.

Таким образом, видно, что продление срока службы плавучих доков до 50 лет и более, рекомендуемых Правилами Российского морского регистра судоходства (РМРС) [8] как расчетные, возможно. Однако до какого предела это целесообразно и допустимо, особенно если им нет замены, поскольку в составе докового парка пополнения давно уже не было.

Плавучие судоподъемные сооружения докового типа «Атлант», «Сакура», «Итарус», «Свияга» и «Вымпел» (рис. 3), единственные появившиеся в составе докового парка нашей страны за последние почти 30 лет.

Однако эти судоподъемные сооружения создавались или закупались за границей не для замены существующих плавучих доков, находящихся в эксплуатации, а для выполнения сугубо специализированных операций при использовании новых производственных объектов.

Из плавучих доков, эксплуатирующихся в настоящее время в нашей стране, более 20 относятся к спусковым, передаточным, транспортным, транспортно-спусковым и другим специализированным плавучими судоподъемным сооружениям, являющихся неотъемлемыми элементами технологической или транспортно-технологической системы создания или ремонта кораблей и судов [9,10]. К этой группе относятся все пять плавучих судоподъемных сооружений, вошедших в состав докового парка в последние годы. В составе остальной большей части докового парка, традиционно используемой для ремонта кораблей и судов, изменений за последнее время не было. Поэтому стоит рассмотреть, что же имеется в его составе и, как следствие, понять, чего можно ожидать в ближайшее время.

Несмотря на существенные сокращения докового парка за последние десятилетия в настоящее время в стране эксплуатируется около 120 плавучих доков и судоподъемных сооружений докового типа различной грузоподъемности и назначения, распределение которых на пять групп (I–V) в зависимости от их грузоподъемности, а также от материала корпуса показано на рис. 4.

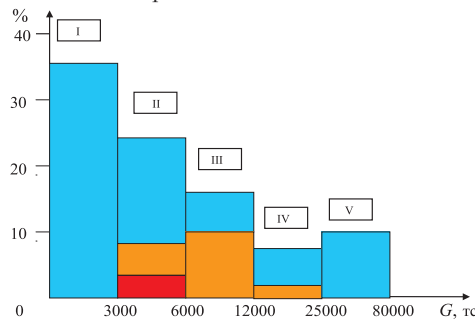


Рис. 4. Распределение плавучих доков, эксплуатирующихся в России, по грузоподъемности и материалу корпуса:

■ – металлические, ■ – железобетонные, ■ – композитные

Средний срок службы плавучих доков, находящихся в эксплуатации в нашей стране, по состоянию на 2019 г. составляет около 42 лет. Однако у разных по грузоподъемности групп этих сооружений эта величина существенно различается (рис. 5, таблица).

В таблице представлены средний срок службы специализированных и ремонтных плавучих доков, а также их максимальные и минимальные значения.

При сопоставлении сроков службы ремонтных и специализированных плавучих доков различных групп грузоподъемности можно заметить между ними существенные различия. Средний срок службы специализированных плавучих доков прежде всего последних лет составляет около 30 лет, а без их учета – около 38 лет. Однако средний срок службы этих плавучих доков IV группы, имеющих грузоподъемность от 12 000 до 25 000 т, превышает 43 года. Это объясняется тем, что в эту группу вошли спусковые и передаточные плавучие доки крупнейших отечественных судостроительных и судоремонтных предприятий, которыми они были оснащены в процессе реконструкции 70-х гг. прошлого века [10]. В настоящее время срок службы этих доков уже приближается к расчетному значению – 50 лет.

Аналогичная ситуация сложилась также на нескольких предприятиях, являющихся владельцами судоподъемных сооружений такого же назначения, но меньшей грузоподъемности (I, II и III группы), которыми они были оснащены в 80-е гг. [10]. Эти доки равномерно распределились по указанным выше группам, и существенного увеличения средних значений их срока службы не отмечено – оно приближается

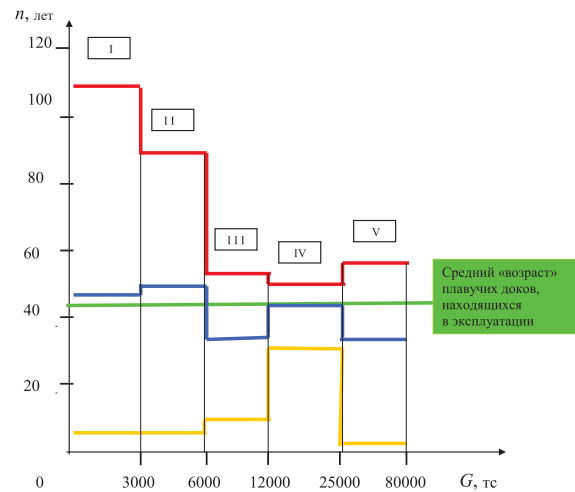


Рис. 5. Срок службы плавучих доков
■ – средний, ■ – максимальный, ■ – минимальный

Таблица
Показатели срока службы основных групп плавучих доков

Назначение	Показатель	Группа грузоподъемности				
		I	II	III	IV	V
	Грузоподъемность плавучих доков, тс	До 3000	3001–6000	6001–12 000	12001–25 000	Более 25 000
Плавучие доки всех назначений	Доля в составе докового парка, %	Ок. 36	Ок. 27	Ок. 19	Ок. 8	Ок. 10
	Срок службы, число лет:					
	- средний	48	49	37	41	38
	- максимальный	109	86	50	47	51
	- минимальный	4	4	6	28	1
Специализированные плавучие доки	Доля в составе докового парка, %	ок. 4	ок. 3	ок. 2	< 4	< 1
	Срок службы, число лет:					
	- средний	22	35	26	>43	1
	- максимальный	42	47	45	47	1
	- минимальный	4	4	6	36	1
Ремонтные плавучие доки	Доля в составе докового парка, %	ок. 32	ок. 24	ок. 17	< 5	ок. 9
	Срок службы, лет:					
	- средний	51	50	39	40	39
	- максимальный	109	86	50	44	51
	- минимальный	30	29	30	28	30

к 40 годам.

Средний срок службы плавучих судоподъемных сооружений, использующихся для ремонта кораблей и судов, количество которых составляет более 4/5 всего докового парка страны, приближается к полудековой отметке, а некоторых групп уже достиг или превысил ее (рис. 6). Одновременно следует отметить, что минимальный срок службы этих сооружений практически одинаков для всех групп плавучих доков и составляет 28–30 лет (см. таблицу). Это объясняется тем, что после распада СССР экономические связи с независимыми странами, на территории которых остались судостроительные предприятия, осуществлявшие серийное строительство и поставки плавучих доков (судостроительный завод «Балтия», Херсонский судостроительно-судоремонтный завод, Херсонское судостроительное объединение «Паллада») были нарушены и до настоящего времени не восстановлены. Как следствие, замена отслуживших плавучих доков продукцией этих предприятий, не проводится.

Наибольший средний срок службы имеют ремонтные плавучие доки грузоподъемностью до 6000 т (I и II группы), превышающий среднее значение, до которого «доживают» далеко не все судоподъемные сооружения этого назначения. Нештатные ситуации с этими доками, связанные с существенными повреждениями корпусных конструкций или завершающиеся затоплением, происходят редко, несмотря на не всегда достаточное внимание, уделяемое доковладельцами их техническому состоянию и даже эксплуатирующие без разреше-

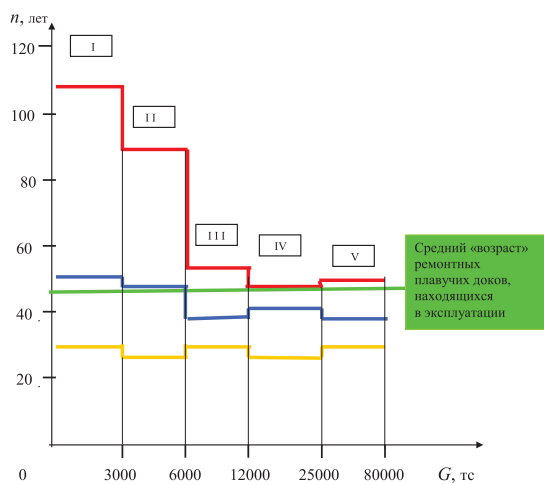


Рис. 6. Срок службы ремонтных плавучих доков
 — средний, — максимальный, — минимальный

тельных документов. По всей видимости, это объясняется не только их небольшой грузоподъемностью, которая в процессе эксплуатации еще снижается, иногда в два раза и более, но и тем, что выполнялось и в настоящее время выполняется самодокование или докование таких металлических плавучих доков значительно чаще, чем доков большой грузоподъемности.

Почти все металлические плавучие доки, входящие в I и II группы, имеют конструкцию, пригодную для их самодокования, что реализуется, но довольно редко, как правило, в случае крайней необходимости. Небольшие размеры таких плавучих доков и простые обводы дают возможность при небольших затратах времени и средств привести их корпусные конструкции в рабочее состояние и продлить срок эксплуатации дока.

Продление срока службы металлических плавучих доков I и II группы после ремонта корпуса, выполняемого при доковании или самодоковании, на ограниченный период времени, допустимо но только выборочно и после обоснования. Однако это можно планировать и допускать только как крайнюю меру в период подготовки к выводу дока из эксплуатации или ожидания замены.

Особое внимание заслуживают плавучие доки II группы с корпусами из железобетона, их количество достигает около 4% всего докового парка. Это небольшая часть построенных плавучих доков, уцелевшая благодаря удачной конструкции, хорошим условиям эксплуатации и, как правило, бережному отношению к ним владельцев, стремящихся продлить их эксплуатацию. К этой группе относятся две большие серии плавучих доков. Так, возраст сохранившихся плавучих доков грузоподъемностью 4000 т, построенных в 30-е гг. прошлого века в Ленинграде, превышает 80 лет, а грузоподъемностью 6000 т, построенных в Херсоне в 50–60-е гг., – 55–65 лет. При этом их эксплуатация продолжается в большинстве случаев с ограничением грузоподъемности, так как попытки ремонтно-восстановительных работ корпусных конструкций без вывода доков из эксплуатации положительных результатов не дали. Поэтому, несмотря на любые мероприятия по поддержанию технического состояния этих доков, в ближайшее время их придется выводить из эксплуатации во избежание аварий.

Почти четверть II группы (около 5% всего докового парка) составляют плавучие доки грузоподъемностью 4500–5000 т, имеющие корпуса композитной конструкции (железобетонный понтон и металлические башни). До полувекового рубежа ни один из доков данных серий «не дотянул» и неизвестно, «дотянет» ли, хотя срок службы оставшихся в эксплуатации достигает 31–48 лет. При этом грузоподъемность части этих доков, находящихся в эксплуатации, уже была существенно снижена, поскольку попытки ремонтно-восстановительных работ железобетонных конструкций, которые являются «слабым звеном» этих доков, положительных результатов не дали. Поэтому в бли-

жайшие время эти доки по мере достижения ими критического состояния придется выводить из эксплуатации, чтобы избежать нештатных ситуаций и аварий с тяжелыми последствиями.

В последние годы наибольшие сокращения коснулись плавучих доков с железобетонными и композитными корпусами грузоподъемностью до 6000 т.

Средний срок службы плавучих ремонтных доков грузоподъемностью более 6000 т (III, IV и V группы) – около 40 лет, а максимальный и минимальный – около 50 и 30 лет, соответственно.

Следует обратить внимание, что в состав III группы входят доки грузоподъемностью 8500–9100 т, имеющие композитные корпуса и составляющие более 2/3 от состава этой группы, или около 12% от докового парка. Срок службы оставшихся в эксплуатации таких плавучих доков этих серий, построенных в Херсоне, составляет 30–50 лет. Большая часть плавучих доков данных серий уже выведена из эксплуатации ранее указанного срока. При этом имеется опыт выполнения ремонтно-восстановительных работ железобетонных конструкций понтона одного из этих доков для поддержания его технического состояния в пределах расчетного срока службы. Эти работы, выполнявшиеся не командой плавучего дока, а специализированной организацией, оказались большими по объему, продолжительными и дорогостоящими. Повторить этот опыт больше никто не решился. У нескольких плавучих доков этих серий грузоподъемность была снижена на 20–30%.

Таким образом, плавучие доки этих серий, оставшиеся в эксплуатации, по мере достижения ими критического состояния, которое может быть и менее 50 лет, придется выводить из эксплуатации во избежание аварийных ситуаций.

Вывод из эксплуатации металлических и композитных плавучих доков грузоподъемностью более 12 000 т (IV и V группы) в основном происходил в результате нештатных ситуаций и аварий [2, 5, 6], и срок службы не всегда был основанием. После ликвидации последствий нештатных ситуаций или аварий эти доки не всегда выводились из эксплуатации. Поэтому прогнозировать вывод из эксплуатации плавучих доков этих групп можно только, исходя из расчетного срока службы.

Выполненный анализ показал, что для сохранения численности докового парка страны по состоянию на 2019 г. без учета возможных последующих изменений должна быть осуществлена замена не менее 35 плавучих доков, в том числе грузоподъемностью до 3000 т не менее 15 ед., грузоподъемностью 3001–6000 т – не менее 17 ед., грузоподъемностью 6001–12 000 т – 1 ед. и грузоподъемностью свыше 25 000 т – 2 ед. При этом необходимость такого количества плавучих доков и их распределение по группам грузоподъемности следует уточнять с учетом возможных потребностей.

ЛИТЕРАТУРА

- Смирнов А.Г. Аварии плавучих доков, аварийные ситуации и их причины // Судостроение. – 2017. – № 3. – С. 52–58.
- Плавучий док «Паллада», где ремонтировалась АПЛ «Томск», затонул в Приморье // Prima Media, Владивосток. – 2014. – 15 июня.
- Плавучий док не выплыл // Северная неделя. – 2017. – 21 июня.
- В порту Владивостока ушел на дно плавучий док // Восток-Медиа. – 2018. – 13 марта.
- Плавдок поднят со дна: Как это было – из первых рук // Корабел.ру. – 2018. – 18 декабря.
- Залег на дно // Новая газета. – 2018. – № 136 (7 декабря).
- Беспечный док: почему в Севастополе утонул ПД-16 // Известия. – 2019. – 16 декабря.
- Правила классификации и постройки морских судов // Российского морского Регистра судоходства. – Ч. II: Корпус. – НД №2-020101–114, 2019.
- Смирнов А.Г. Транспортные плавучие доки // Гангут. – 2014. – №84/100. – С. 88–100.
- Смирнов А.Г. Использование плавучих доков для спуска судов на воду и подъема с воды на берег // Морской вестник. – 2018. – № 3. – С. 43–48. ■

На сегодняшний день созданием и применением подводных аппаратов (ПА), как обитаемых (ОПА), так и необитаемых (НПА), занимается большинство мореведческих государственных и частных организаций в мире. Подводные аппараты различных типов стали обычным инструментом, используемым при выполнении гидрографических съемок, поисково-обследовательских операций, сбора океанографической информации и других видов работ в широком диапазоне глубин. При аварийно-спасательных операциях кроме непосредственных поисковых задач на ПА возлагаются также задачи по расследованию и уточнению последствий чрезвычайных происшествий и картографированию их мест. Все чаще применяют ПА в нефтегазовой отрасли. Однако ключевым остается использование ПА для научно-исследовательских целей.

Широкий обзор существующих и перспективных ПА представлен в отечественной и зарубежной печати [1,2,3]. В ней рассматриваются направления развития, оснащение ПА, решаемые задачи и результаты работ. Отмечается, что в последние годы достигнут значительный прогресс в решении проблем управления ПА, в разработке высокоточных технических средств навигации (ТСН), создании управляемых манипуляторов.

Развиваются и технологии, позволяющие изучать районы, ранее считавшиеся труднодоступными или не пригодными для обследований. В подтверждении этого упоминаются работы на глубине 9900 м после недавней аварии ПА «Неريس» во впадине Кермадек [3].

Усиленное внимание обращено на разработку ОПА. И если ранее создание ОПА было привилегией крупных государственных организаций ведущих морских держав (таких, как РФ, США, Франция, Япония), то в настоящее время в силу удешевления технологии производства, с одной стороны, и увеличения спроса на них, с другой, расширился и объем постройки ОПА, особенно малых. Спрос объясняется повышением интенсивности работ в нефтегазовой отрасли (осмотровые и рабочие ОПА), активизацией подводного туризма («персональные субмарины») и подводных историко-археологических исследований. Такие аппараты рассчитаны на два-три человека, иногда на пятерых.

Массовое создание ПА различных типов предполагает оснащение их современными средствами навигации. При этом для упрощения конструкции, уменьшения размеров, повышения надежности, безопасности и комфортабельности и удешевления стоимости проекта ПА предпочтение отдается типовым ма-

АНАЛИЗ ТИПОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

ПО МАТЕРИАЛАМ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ПЕЧАТИ

*Н. А. Нестеров, д-р техн. наук, проф., руководитель проекта,
Р. А. Андреев, начальник отдела, гл. конструктор, АО «МНС»,
контакт. тел. (812) 320 3840*

логабаритным ТСН. Особое внимание при этом уделяется надежности, так как малые размеры и энерговооруженность и НПА, и ОПА практически не оставляют возможности прямого дублирования средств навигации. Кроме того, эти средства должны работать автоматически и не требовать управления режимами работы и коррекцией, так как на НПА ими управлять просто некому, а на ОПА пилот занят, в первую очередь, его управлением и решением поставленной задачи в целом, и ему сложно отвлекаться на решение навигационных задач.

Так, например, компания Triton Sub предлагает в стандартном составе навигационных средств: глубиномер, единый прибор курсоуказания и углов качек, а в качестве дополнительной опции – доплеровский лаг [4]. Компания Uboatworx также предлагает линейку ОПА, каждый из которых оснащен современным и, что важно, малогабаритным и точным навигационным вооружением [5].

В общем, ТСН ПА должны решать задачи выработки координат места, курса, крена и дифферента, составляющих скорости движения, глубины погружения и отстояния от грунта.

Рассмотрим основные технические характеристики ТСН, предлагаемых для оснащения ПА, а именно: гидроакустических лагов (ГАЛ), бесплатформенных инерциальных навигационных систем (ИНС) и комбинированных систем навигации (КСН), предназначенных для автономной выработки координат, курса и составляющих скорости. Навигационные гидроакустические системы (НГС) в данной статье не рассматриваются.

Обзор составлен исключительно по данным, публикуемым на открытых сайтах фирм-изготовителей. Он предоставляет возможность оценить спектр выпускаемой продукции различными предприятиями и их подходы к созданию ТСН универсального применения, обеспечивающих широкий выбор для предпринятой-разработчиков ПА и их радиоэлектронных комплексов. Дан-

ные об ГАЛ, ИНС и КСН приведены в табл. 1–3 [7–16].

Включенные в обзор КСН отражают наметившийся тренд в развитии навигационных систем для ПА. КСН представляет собой герметичный моноблок ИНС+ГАЛ, который в зависимости от модели и исполнения может включать в себя также указатели глубины погружения, каналы эхолотов и пр. Эти системы пока малочисленны, но, по мнению авторов статьи, за ними будущее, так как они имеют ряд преимуществ:

- уменьшенные габариты по сравнению с отдельными системами;
- взаимная калибровка ИНС+ГАЛ, проводимая в условиях завода-изготовителя, что ведет к сокращению времени и количеству наладочных операций при строительстве и испытаниях ПА, а также позволяет выполнять блочную замену;
- реализация алгоритма совместной первичной обработки данных ИНС+ГАЛ в КСН, позволяющая снизить вычислительную нагрузку на другие системы ПА.

По существу, КСН – это почти готовый навигационный комплекс ПА, в равной мере применимый и на НПА, и на ОПА.

Надежность КСН, напротив, требует пристального внимания, так как в случае затекания гермоемкости или электрического разьема, повреждения кабеля или токоввода, сбоя электропитания ПА полностью остается без навигационных параметров, и для возвращения ПА на судно-носитель необходим резервный курсоуказатель, хотя бы и пониженной точности.

Также можно ожидать, что стоимость КСН за счет общего гермокорпуса, совмещенных компонентов.

Номенклатуру рассматриваемых ИНС ограничим размерами и приборным составом, а именно ИНС, состоящими из единственного небольшого приборного блока, позволяющего их использовать для оснащения автономных ПА различного типа и назначения. Следующим критерием для включения ИНС в обзор – перечень вырабатыва-

Основные технические характеристики ГАЛ

Модель (страна, год)	Частота, кГц	Тип антенны	Погрешность скорости отн. грунта, %	Погрешность скорости, см/с	Макс. дальность, м	Погрешность скорости отн. воды, %	Макс. дальность, м	Глубина, м	Материал	Масса в воде, кг	Высота, мм	Диаметр (ширина), мм	Длина, мм
Syrinx Type 8275-4531 (Англия, 2019)	600	«Янус»	0,12	0,1	175	0,2	70	4000	Титан	7	189	225	-
Syrinx Type 8275-6531 (Англия, 2019)	600	»	0,12	0,1	175	0,2	70	6000	»	9	204	225	-
WHN 300(США, 2013)	300	»	0,4	0,2	200	0,4	110	3000	»	8,8	244,5	225,2	-
WHN 600(США,2013)	600	»	0,2	0,1	90	0,3	50	6000	»	13,6	244,5	225,2	-
WHN 1200(США,2013)	1200	»	0,2	0,1	25	0,2	15	6000	»	12,1	244,5	225,2	-
Pathfinder (США, 2018)	600	Фаз.	0,2	0,1	89	0,3	47	1000	нд	0,7	244,5	225,2	-
Pioneer (США, 2018)	600	»	0,2	0,1	100	0,3	60	6000	нд	2,2	242,9	201,9	-
Pioneer (США, 2018)	300	»	0,3	0,1	275	0,6	150	6000	нд	2,9	242,9	201,9	-
Tasman (США, 2020)	600	»	0,2	0,1	100	0,3	60	6000	нд	4,35	71,12	101,6	228,6
Tasman (США, 2020)	300	»	0,3	0,1	275	0,6	150	6000	нд	4,35	245	160	-
NavQuest 600 Micro (США, 2019)	600	«Янус»	1	0,1	110	нд	нд	6000	Алюминий	1,2	245	160	-
NavQuest 600 Micro Model P (США, 2019)	600	»	0,2	0,1	110	нд	нд	6000	»	1,2	174	178	-
NavQuest 600(США, 2019)	300	»	1	0,2	300	нд	нд	6000	»	4,2	174	178	-
NavQuest 600 Model P (США, 2019)	300	»	0,4	0,2	300	нд	нд	6000	»	4,2	174	126	-
NavQuest 600(США, 2019)	600	»	1	0,1	110	нд	нд	6000	»	4,2	174	126	-
NavQuest 600 Model P (США, 2019)	600	»	0,2	0,1	140	нд	нд	6000	Алюминий	4,2	201,3	200	-
DVL500-300(Норвегия, 2019)	500	»	0,1	0,1	200	0,3	70	300	РОМ	0,5	201,3	200	-
DVL500-6000(Норвегия, 2019)	500	»	0,1	0,1	200	0,3	70	6000	Титан	3,1	201,3	200	-
DVL1000-300(Норвегия, 2019)	1000	»	0,1	0,1	75	0,3	30	300	РОМ	0,15	201,3	200	-
DVL1000-4000(Норвегия, 2019)	1000	«Янус»	0,1	0,1	75	0,3	30	4000	Титан	1,7	203	186	-
Sea Pilot High Accuracy (США, 2019)	600	»	0,7	0,2	300	0,7	150	6000	»	нд	203	186	-
Sea Pilot High Accuracy 3 inch (США, 2019)	600	»	0,25	0,2	130	0,25	75	6000	»	нд	158	114	-
Sea Pilot High Accuracy 2 inch (США, 2019)	300	»	0,5	0,2	120	0,5	70	6000	»	нд	164	114	-
Sea Pilot High Accuracy(США, 2019)	300	»	0,25	0,2	50	0,25	30	6000	»	нд	нд	нд	нд
AquaTrakCVL (Англия, 2020)	600	Корреляционный	0,1	0,1	300	Неприменимо	-	3000	Алюминий	6,9	нд	нд	нд
DVL-(300Китай, 2020)	600	«Янус»	0,4	0,5	200	0,5	100	6000	Титан	15	нд	нд	нд
DVL-600(Китай, 2020)	1200	»	0,3	0,3	120	0,3	70	6000	»	12	нд	нд	нд
DVL-1200(Китай, 2020)	1200	»	0,3	0,3	30	0,3	30	6000	»	22	241	225	-
ЛД-600(Россия, 2019)	600	»	0,5	0,3	100	нд	нд	6000	»	нд	258	230	-
ЛД-300(Россия, 2019)	300	»	0,5	0,3	200	нд	нд	6000	»	нд	248	225	-
ЛД-600 малогабаритный (Россия, 2019)	600	»	0,5	0,3	80	нд	нд	6000	»	нд	248	225	-

Примечания: «Янус» – двунаправленная антенна; Фаз.– антенна с фазированной решеткой; нд – нет данных; РОМ – термопластик.

Таблица 2

Основные технические характеристики ИНС

Модель (изготовитель, страна, год)	Точность позиционирования ИНС, мили/ч	Точность позиционирования ЛАГ, % от дистанции	Погрешность гориз. скорости, м/с	Погрешность курсоуказания, град	Высокоширотный режим	Масса, кг	Герметичность, м
GIN5-N01(HHNT, Китай, 2019)	0,6	0,3	0,1	0,02	Отсутствует	6	0
GIN5-C01(HHNT, Китай, 2019)	0,3	0,2	0,1	0,02	»	20	0
PHINS Surface (iXBlue, Франция, 2019)	0,6	0,1	нд	0,02	нд	4,5	6000
PHINS Subsea (iXBlue, Франция, 2019)	нд	0,05	нд	0,02	нд	23	6000
PHINS Subsea&DVL (iXBlue, Франция, 2019)	нд	0,05	нд	0,02	нд	49	6000
Rovins (iXBlue, Франция, 2019)	нд	0,1	нд	0,05	нд	15	3000
Rovins&DVL (iXBlue, Франция, 2019)	нд	0,1	нд	0,05	нд	33	3000
Rovins Nano (iXBlue, Франция, 2019)	0,02	0,2	нд	0,15	Отсутствует	10	4000
Бемоль-Э (Электроприбор, Россия, 2019)	0,15	нд	0,6	0,1	»	25	0
Бемоль-М (Электроприбор Россия, 2019)	0,15	нд	0	0,1	»	30	0
БИНС-500М (Оптолинк, Россия, 2017)	4,3	нд	2	0,4	нд	6,4	6000
МК31INS (Teledyne TSS, Англия, 2019)	нд	1 м за 8 ч.	нд	0,1	До 80	15	0
TOGSINS1(Teledyne TSS, Англия, 2019)	0,1	0,2	нд	0,1	До 80	16	6000
TOGSINS3(Teledyne TSS, Англия, 2019)	0,3	0,4	нд	0,3	До 80	10,2	6000
TOGSINS1(Teledyne TSS, Англия, 2019)	нд	0,6	нд	0,5	До 80	10,2	6000
TOGSNAV1(Teledyne TSS, Англия, 2019)	0,1	0,2	нд	0,1	До 80	18,6	4000
TOGSNAV3 (Teledyne TSS, Англия, 2019)	0,3	0,4	нд	0,3	До 80	17,4	4000
TOGSNAV5 (Teledyne TSS, Англия, 2019)	нд	0,6	нд	0,5	0	17,4	4000

Основные технические характеристики КНС

Модель (изготовитель, страна, год)	Точность позиционирования ИНС, мили/ч	Точность позиционирования ЛАГ, % от дист.	Погрешность курсоуказания, град	Время запуска в море, мин	Высокоширотный режим	Масса, кг	Герметичность, м
PHINS Subsea&DVL (iXBlue, Франция, 2019)	нд	0,05	0,02	0	нд	49	6000
Rovins&DVL (iXBlue, Франция, 2019)	нд	0,1	0,05	нд	нд	33	3000
TOGSNAV1 (Teledyne TSS, Англия, 2019)	0,1	0,2	0,1	0	До 80	18,6	4000
TOGSNAV3 (Teledyne TSS, Англия, 2019)	0,3	0,4	0,3	0	До 80	17,4	4000
TOGSNAV5 (Teledyne TSS, Англия, 2019)	нд	0,6	0,5	0	До 80	17,4	4000
SPRINT-Nav 300 (SonarDyne, Англия, 2020)	0,04	0,12	0,05	нд	нд	28,1	6000
SPRINT-Nav 500 (SonarDyne, Англия, 2020)	0,02	0,07	0,04	нд	нд	28,1	6000
SPRINT-Nav 700 (SonarDyne, Англия, 2020)	0,02	0,05	0,02	нд	нд	28,1	6000

емых параметров, в который в обязательном порядке входят координаты места, способность принимать данные от внешних источников о скорости, глубине погружения и координатах места от спутниковых навигационных систем (СНС) или НГС.

Рассматривая характеристики ИНС, можно отметить, что наиболее точными из них являются ИНС Rovins Nano фирмы iXBlue, (Франция), TOGSINS1 и TOGSNAV1 фирмы Teledyne TSS (Англия). Точность позиционирования ПА ИНС Rovins Nano составляет 0,02 мили/ч, ИНС TOGSINS1 и TOGSNAV1 – 0,1 мили/ч. Наименьшая точность у ИНС GINS-N01 (HNNT, Китай) и PHINS Surface (iXBlue, Франция) – 0,6 мили/ч. Погрешность курсоуказания, обеспечиваемая зарубежными ИНС, находится в пределах от 0,02° до 0,5°.

Технические характеристики отечественных ИНС на сегодняшний день хуже. Так, точность позиционирования малогабаритной БИНС-500М (фирма «Оптолинк») – 4,3 мили /ч. ИНС Бемоль-М и Бемоль-Э (АО «ЦНИИ «Электроприбор»), хотя и имеют соизмеримую с зарубежными аналогами точность (0,15 мили/ч), но обладают сравнительно большими массой и габаритами.

В печати можно найти сведения об ИНС в герметичном корпусе для глубин до 6000 м, а для глубин более 6000 м данные отсутствуют. По-видимому, создание таких образцов представляет некоторый эксклюзив. Наличие исполнений ИНС в гермокорпусе и без него предоставляет конструктору навигационного комплекса ПА выбор компоновки прибора.

В целом, современные малогабаритные ИНС, пригодные для установки на ПА, позволяют обеспечить:

- среднюю точность позиционирования 0,3 мили/ч;
- среднюю погрешность курсоуказания 0,16°.

Характерными особенностями ГАЛ для ПА являются небольшие размеры, наличие встроженных датчиков давле-

ния и температуры воды, которые можно использовать как резервные, а в ряде случаев и вместо глубиномера, чтобы сэкономить массогабаритные характеристики навигационной системы ПА в целом. Гидроакустические антенны большинства ГАЛ на сегодняшний день построены по схеме «Янус» с использованием четырех отдельных приемопередающих антенн. В более современных ГАЛ предпочтение отдается антеннам с фазированной решеткой.

Наибольшей точностью измерения скорости движения относительно грунта (погрешность в пределах 0,1 см/с) обладают ГАЛ фирмы Sonardyne (Англия) Syrinx Type 8275-4531, Syrinx Type 8275-6531, AquaTrakCVL, DVL1000-4000 и фирмы Nortek Group (Норвегия) DVL500-300, DVL500-6000, DVL1000-300. Наибольшие погрешности (0,3–0,5 см/с) отмечаются у ГАЛ фирмы Haiying Marine (Китай) DVL-600, DVL-300. ГАЛ российского производства располагаются в «середине ряда», имея погрешность измерения 0,3 см/с. Современные малогабаритные ГАЛ, пригодные для установки на ПА, в среднем позволяют измерять скорость относительно грунта с погрешностью 0,35% и относительно воды 0,5%. В печати публикуются только данные о ГАЛ в гермокорпусах до глубин 6000 м. Для глубин более 6000 м информация о таких приборах, так же как и об ИНС, отсутствует.

Оценивая технические характеристики КНС, приведенные в табл. 3, можно отметить, что они не превосходят соответствующие характеристики ИНС или ГАЛ по отдельности, т.е. комбинирование ИНС и ГАЛ в одном корпусе не дает особых преимуществ в точности вырабатываемых параметров. Основные преимущества КНС – это удобство размещения ТСН на ПА, уменьшение общих массогабаритов и стоимости, упрощение обслуживания.

В заключение можно отметить следующее: на сегодняшний день в мире разработан и производится достаточно широкий спектр малогабаритных бесплатформенных ИНС и ГАЛ для ПА.

Иностранные изготовители, как правило, предлагают сразу линейку технических средств в различных исполнениях. Современные зарубежные ТСН в общем удовлетворяют требованиям по точности определения места, выработке курса и скорости ПА, но в связи с возрастающими запросами к точности следует ожидать дальнейшего роста этих показателей.

По большинству своих характеристик отечественные ИНС и ГАЛ несколько уступают зарубежным. Современные системы отсутствуют. Кроме того, освещенность характеристик и их детальность на сайтах предприятий невысока, что приводит к неутешительному выводу о недостаточной заинтересованности отечественных производителей в разработке малогабаритных ТСН для ПА. Проблема импортозамещения ТСН и задача оснащения всех видов ПА отечественными средствами навигации остается актуальной и требует безотлагательного решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасенко А.А., Краснов В.В., Смирнов К.А., Кирьянов А.В., Хан Р.Е., Мальцев И.Г., Мальцев А.Б. Зарубежные бионические автономные необитаемые подводные аппараты /АО «СПМБМ «Малахит». – СПб., 2018. – 156 с.
2. Нестеров Н.А. Автономные необитаемые подводные аппараты // Записки по гидрографии. – 2015. – № 296. – С.88–92.
3. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана: Сб. статей. – М.: ИД Оружие и технологии. – 2011. – 780 с.
4. Joseba Tena. Autonomous Underwater Vehicles //Hydro International. – 2014. – №18 (sept.).
5. <https://tritonsubs.com/products-services/all-subs/>
6. <https://www.uboatworx.com/why-u-boatworx-submarines>
7. <https://www.sonardyne.com>
8. <https://www.teledynemarine.com>
9. <https://www.elektropribor.spb.ru>
10. <https://www.naeco.ru>
11. <https://www.iXblue.com>
12. <https://www.optolink.ru>
13. <https://www.hatrannavi.com>
14. <https://www.haiyingmarine.com>
15. <https://www.link-quest.com>
16. <https://www.nortekgroup.com> ■

Подъем затонувших объектов (ЗО), включающий в себя и судоподъем, – востребованная область деятельности на море и внутренних акваториях Российской Федерации. К ЗО согласно ГОСТ Р 22.0.09–95 [1] отнесены оказавшиеся на дне акватории в результате аварии или гибели морские (речные) объекты, предметы вооружения и военной техники, технические средства поиска, добычи и подъема минеральных ресурсов со дна морей и внутренних водных бассейнов, а также народнохозяйственные грузы и техника. Среди ЗО различают потенциально опасные морские (речные) объекты (ПОО), на которых используют, производят или добывают, хранят или транспортируют радиоактивные, пожаро- и взрывоопасные, опасные химические и биологические вещества, создающие угрозу возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС) на акватории [1].

Количество списанных и полузатопленных кораблей и судов стало угрожать экономической и экологической обстановке в районах военно-морских баз и крупных портовых городов еще к концу 80-х гг. прошлого века. По данным Регистра Ллойда за 1985–1990 гг., на территории бывшего СССР было списано в металлолом около 1500 крупных морских судов суммарным тоннажем 2,5 млн. т. За 1985–1992 гг. только из состава ВМФ было выведено из эксплуатации с целью разделки на металлолом около 550 боевых кораблей суммарным водоизмещением около 250–300 тыс. т. К этому списку следует добавить тысячи рыболовных судов, а также мелких судов и катеров, принадлежавших различным ведомствам. Предприятия Вторчермета могли в то время переработать не более 25–30% этого количества, некоторые корабли и суда, особенно крупные, были переданы на металлолом за границу, но основная масса поставлена в отстой или брошена на побережье без охраны. Естественно, что значительная часть этих судов находилась в затопленном или полузатопленном состоянии [2]. В морских районах, во внутренних водных бассейнах страны в настоящее время затоплено (притоплено) несколько тысяч кораблей, подводных лодок, судов, катеров и других плавучих объектов, представляющих навигационную угрозу судоходству и наносящих огромный вред экологии водной среды акваторий [3]. Характерно,

АКТУАЛЬНЫЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДЪЕМА ЗАТОНУВШИХ ОБЪЕКТОВ

ЧАСТЬ 1

*В.Н.Илюхин, д-р техн. наук, проф.,
председатель секции «Поисково-спасательная техника и технологии»
Российского НТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова,
контакт. тел. (812) 927 8501*



Рис.1. Затонувшие суда в Авачинской бухте

что данное количество ЗО охватывает все регионы (рис. 1) нашей страны [4]. Эти «брошенные» объекты снижают уровень безопасности мореплавания и являются источниками интенсивного загрязнения вод и донных осадков химическими веществами, а места их скопления – очагами повышенной экологической загрязненности.

Следует отметить, что в соответствии с п. 11 решения Морской коллегии при Правительстве РФ от 6 апреля 2005 г. № МФ-П4–16 пр. предусматривалось: «Минтрансу России, Минобороны России, Минсельхозу России, МЧС России, Минпромэнерго России, Минэкономразвития России, Минфину России, Минрегиону России с участием Морских советов федеральных округов и субъектов Российской Федерации провести оценку общего количества затонувших кораблей и судов в независимости от их принадлежности, создающих угрозу безопасности судоходства и наносящих ущерб окружающей среде. Подготовить концепцию федеральной целевой программы подъема и утилизации затонувших кораблей, судов и иных объектов во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации и представить ее для рассмотрения на итоговом заседании Морской коллегии за 2005 год».

Так как результаты выполнения данного решения Морской коллегии при Правительстве РФ в протоколе заседания Морской коллегии от 20 января 2006 г. № 1 (11) не отражены, то и сегодня проведение работ по подъему ЗО сохраняет свою актуальность не только для ВМФ, но и для других федеральных органов исполнительной власти, таких как Минтранс, Минобороны и МЧС России.

Например, в настоящее время в Кольском заливе насчитывается порядка 100 брошенных судов. Из них пять представляют серьезную навигационную опасность. Актуален подъем дока ПД-50 в Мурманской области, радиационно-опасных объектов в Арктической зоне, в первую очередь АПЛ К-27 пр. 645, затопленной в Карском море на глубине 30 м в 1982 г., АПЛ К-278 «Комсомолец», затонувшей на глубине 1680 м в Баренцевом море в 1989 г., АПЛ «Б-159» пр. 627А, затонувшей в Баренцевом море в районе о. Кильдин на глубине 248 м в 2003 г. (рис. 2) и другие ЗО в Арктике (рис. 3) с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами, которые должны быть утилизированы [5] при выполнении мероприятий по реабилитации арктических морей от ПОО согласно Стратегии развития Арктической зоны



Рис. 2. Затонувшие АПЛ Б-159 и АПЛ К-278



Рис. 3. Район разработки углеводородов в Карском море и места затоплений потенциально опасных подводных объектов

РФ до 2020 г. и Указа Президента РФ от 05.03.2020 № 164 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года». Мероприятия, направленные на обеспечение безопасности мореплавания и экологической безопасности в акватории Северного морского пути, предусмотрены также в Распоряжении Правительства РФ от 21.12.2019 г. № 3120-р. Вместе с тем Министерством природных ресурсов и экологии РФ в соответствии с поручением Правительства РФ от 3 ок-

тября 2012 г. № ДМ-П9–5838, данным во исполнение поручения Президента РФ В. В. Путина от 21 сентября 2012 г. № Пр-2516, разработана федеральная целевая программа (ФЦП) «Ликвидация накопленного экологического ущерба на 2014–2025 годы». В указанной программе выделены наиболее крупные объекты накопленного экологического ущерба и определены основные направления, требующие первоочередных мер реагирования, одним из которых является ликвидация экологического ущерба, связанного с за-

хламлением прибрежных территорий. Мероприятия по очистке акваторий от всех ЗО предусмотрены на третьем этапе программы в 2021–2025 гг. Работы по созданию «Реестра затонувших объектов», решение о разработке которого принималось Морской коллегией при Правительстве РФ еще в 2005 г., на первом и втором этапах в программе не предусмотрены. Поэтому оценка эффективности проведенных мероприятий по такому целевому индикатору данной ФЦП, как доля ликвидированных «горячих» экологических точек, оказывающих существенное негативное воздействие на население и окружающую среду и по которым выявлен риск распространения загрязнений в окружающую среду или возникновения чрезвычайных ситуаций, в общем количестве таких «горячих» экологических точек» будет недостаточно объективной [6].

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ПОДЪЕМА ЗО

Устойчивой тенденцией за последние 20–30 лет является сокращение объемов работ по судоподъему, предотвращению и ликвидации последствий загрязнения и захламления водных объектов, темпы утилизации судов существенно отстают от темпов их старения и разрушения [7].

Это можно объяснить рядом факторов. Во-первых, высокая стоимость утилизационных работ не привлекает собственников судов, инвесторов и предпринимателей. Во-вторых, судовладельца невозможно заставить сдать судно на утилизацию, поскольку ст. 236 ГК РФ разрешает собственнику отказаться от владения своим имуществом (т.е. бросить его).

Как пример, в случае затопления судна на акватории порта администрация порта может заставить судовладельца поднять судно и поставить на якорь только по решению суда. Кроме того, перед судоподъемной компанией стоит не менее важная задача – получить разрешения на поднятие данных металлоконструкций, не имеющих конкретного владельца.

Одной из проблем при реализации программы очистки Кольского залива от ЗО согласно Распоряжению Правительства РФ от 04.12.2014 г. № 2462-р [8] является отсутствие порядка определения на федеральном уровне ответственного исполнителя за обращением в суд с заявлением о признании ЗО бесхозными, установление собственников имущества и организацию мероприятий по подъему ЗО. Опыт реализации данной программы показал недостаточный уровень как федерального, так и регионального финанси-

вания программы выполнения работ. Комплекс первоочередных мероприятий, направленных на ликвидацию последствий загрязнения и иного негативного воздействия на окружающую среду в результате экономической и иной деятельности, предусмотренный в [8], охватывал только два региона с ЗО на акваториях – Кольский залив (Мурманская область) и Авачинскую бухту (Камчатский край). Несмотря на то, что в течение трехлетнего периода с 2011 по 2014 г. местные компании удалили из акватории Авачинской губы и разделали на металлолом 40 судов общим весом около 24 000 т [4], для комплексного решения проблемы подъема ЗО этого явно недостаточно.

После обнаружения ЗО объявляется розыск судовладельцев, однако эта процедура достаточно продолжительная и может занимать практически год. По истечении этого срока конструкции ЗО могут признать бесхозными и только тогда могут быть подняты. Причем часть этих объектов находится в юрисдикции иностранных государств. Например, в акватории порта Находка количество брошенных судов превышает 30 ед. Из них более 70% – это рыболовные суда, большей частью браконьерские, арестованные пограничниками за незаконную деятельность в российских территориальных водах или экономической зоне (под флагами Камбоджи, Сьерра-Леоне, КНДР и др.). На предъявленные РФ в судебном порядке иски судовладельцы этих стран не реагируют [9]. Выход из положения многие эксперты видят в ратификации РФ Гонконгской международной конвенции по утилизации судов 2009 г., которая обязывает все присоединившиеся страны в обязательном порядке создать необходимые условия для утилизации судов грузовой тоннажем от 500 т. Принятие конвенции даст возможность внести в законодательство изменения, соответствующие процессуальным нормам.

Нормативно-правовая база судоподъема ограничена:

- Кодексом торгового мореплавания РФ;
- Кодексом внутреннего водного транспорта РФ.

Указанные Кодексы определяют обязанность собственника поднять затонувшее имущество, права собственника на затонувшее имущество, подъем, удаление или уничтожение затонувшего имущества портовыми властями (бассейновыми органами государственного управления на внутреннем водном транспорте), истребование поднятого затонувшего имущества его собственником, право

портовых властей на полное возмещение понесенных ими расходов. Кодексы не применяют к подъему, удалению и уничтожению затонувшего военного имущества, а также подъему затонувшего морского имущества культурного характера, имеющего доисторическое, археологическое или историческое значение, если такое имущество находится на морском дне.

В отдельных приморских регионах России уже есть правоприменительная и судебная практика подъема и удаления из акватории морского порта затонувших морских судов. Так, например, суды общей юрисдикции Краснодарского края пришли к выводу, что если собственник затонувшего судна не поднял его в установленный срок, то обязанность по подъему и удалению затонувшего имущества из акватории морского порта возлагается на его администрацию. Однако необходимо отметить, что без судовладельца, в каком бы состоянии судно ни находилось, у портовых властей нет законодательных мер для принятия кардинальных решений. Проблема усугубляется еще и тем, что сегодня в России нет четкой нормативно-правовой базы, определяющей комплекс организационных и технических мер по подъему ЗО и их утилизации. При этом должен быть сформирован правовой механизм привлечения средств подъема ЗО к выполнению работ с объектами военного и гражданского назначения на океанском, морском и речном дне в интересах государственных структур (ВМФ, МЧС, ФГБУ «Морспасслужба», Госкорпорация «Росатом» и др.). Вместе с тем некоторые шаги в направлении нормативно-правового обеспечения регистрации судов сделаны. Так, например, в Кодекс торгового мореплавания РФ был внесен п. 1 ч. 7 ст. 33, запрещающий регистрировать суда в Российском международном реестре, если они зарегистрированы в реестрах иностранных государств и их возраст на дату подачи заявления о государственной регистрации в Российском международном реестре превышает 15 лет [10] (во многих юрисдикциях, в том числе относящихся к «удобным флагам», не подлежат регистрации суда старше 20 лет). Вместе с тем требуются нормативные акты для осуществления межведомственного взаимодействия, в первую очередь, с Министерством обороны.

Несколько лучше обстоят дела с формированием реестра ПОО. Постановлением Правительства РФ от 28 июня 2001 г. № 486 «О совершенствовании деятельности по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на подводных потенциально опасных объектах» на МЧС России было возложено ведение реестра подводных потенциально опасных объектов во внутренних водах и территориальном море РФ. Декларирование безопасности подводных потенциально опасных объектов (ППОО), находящихся во внутренних водах и территориальном море РФ, определено Постановлением Правительства РФ от 21 февраля 2002 г. № 124 [11], а порядок ведения реестра определен в Положении о реестре ППОО во внутренних водах и территориальном море РФ (утверждено приказом МЧС России от 29 декабря 2001 г. № 575).

По состоянию на 2015 г. в Реестровую книгу включено около 24 000 единичных ППОО, представленных в виде 62 обобщенных объектов, находящихся в 41 районе общей площадью более 500 кв. миль [3]. Помимо этого, 11 районов (общей площадью более 200 кв. миль) характеризуются либо количеством опасных веществ, либо имеются данные лишь о факте захоронения. В Реестровую книгу не вошло около 4000 единичных ЗО, затонувших во внутренних водах РФ, потенциальная опасность которых будет уточнена после получения дополнительной информации. Работа «Мониторинг состояния ППОО в Карском, Черном, Балтийском морях» проводится в соответствии с Комплексным планом основных мероприятий МЧС России на каждый год. На дне озера Байкал обнаружены более 200 ППОО. В ходе трех экспедиций, к которым привлекались сотрудники МЧС, Института океанологии РАН и Лимнологического института Сибирского отделения РАН, было обследовано в общей сложности 426 кв. км акватории озера Байкал – Малое море, Баргузинский и Чивыркуйский заливы, а также порт Байкал. Затонувшие объекты в основном находятся на глубинах до 100 м.

Следует подчеркнуть, что в соответствии с Указом Президента РФ от 11.07.2004 г. № 868 «Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» МЧС России осуществляет:

- предупреждение и ликвидацию ЧС на ППОО во внутренних водах и в территориальном море Российской Федерации;
- ведение в установленном порядке реестра ППОО во внутренних водах и в территориальном море РФ (за исключением подводных переходов трубопроводного транспорта).

Сложность предупреждения ЧС с ППОО также состоит в том, что в подавляющем большинстве случаев не определена юридическая принадлежность объекта, неизвестно его техническое состояние, отсутствуют необходимая документация и критерии потенциальной опасности.

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДЪЕМА ЗО

Сегодня особенно остро ощущается противоречие между возрастающей потребностью выполнения работ по подъему ЗО и современным состоянием технических средств судоподъема в России, которое можно охарактеризовать как неудовлетворительное. Представляет интерес опыт решения проблемы подъема ЗО в недавнем прошлом.

За четыре года Великой Отечественной войны Аварийно-спасательной службой (АСС) ВМФ было поднято около 1700 кораблей и судов общим водоизмещением 730000 т. В структуре АСС ВМФ для подъема ЗО были сформированы судоподъемные отряды и отряды подводно-технических работ. Подъем и восстановление затопленных судов морского и речного флота, разделка поднятых судов, не подлежащих ремонту, на металлолом, а также восстановление гидротехнических сооружений портов были определены как общегосударственные задачи. Начиная с февраля 1944 г. задания по этим работам вносились в народнохозяйственный план страны.

В первое послевоенное десятилетие в АСС ВМФ, решающей задачи подъема ЗО и оказания помощи аварийным кораблям и судам в интересах всех ведомств страны, на первый план вышли судоподъемные и гидротехнические работы, которые выполнялись по правительственным заданиям. Значительное место, особенно в 1950–1952 и 1956–1962 гг., занимали также работы по расчистке дна акваторий военно-морских баз, гаваней и портов от мин, торпед, артиллерийских снарядов и других боезапасов.

АСС ВМФ были успешно выполнены все правительственные задания по судоподъему. С мая 1945 г. по декабрь 1955 г. было поднято 2700 кораблей и судов, суммарный тоннаж которых составил 1953880 т [13]. Постановлением Совмина СССР от 17 марта 1956 г. № 362–233 с АСС ВМФ были сняты задачи судоподъемных и гидротехнических работ в масштабах всей страны и созданы аварийно-спасательные службы в других ведомствах.

В 1971 г. в системе Минморфлота было создано Всесоюзное объедине-

ние (ВО) «Совсудоподъем». Помимо задач спасания на море, включая выполнение обязательств СССР по международным договорам, а также традиционных судоподъемных и водолазных работ, на эту организацию были возложены задачи обеспечения дноуглубительных работ на бассейнах, организации морских и океанских экспедиционных буксировочных работ. В период деятельности этого объединения отрядами АСПТР проведены сложные и уникальные операции на морских бассейнах: подъем в 1972–1974 гг. т/х «Моздок» по новой уникальной технологии с применением вспененного полистирола. Особенно масштабной была совместная с ВМФ операция в 1972–1974 гг. в объединенной экспедиции в Бангладеш. В результате очередной реформы в 1982 г. ВО «Совсудоподъем» было упразднено с распределением его функций между ВО «Мореплавание» и ВО «Морстройзагрансоставка».

В дальнейшем для решения проблемы подъема ЗО Советом Министров СССР было издано распоряжение от 29 декабря 1988 г. № 32614 р, которым предписывалось всем министерствам и ведомствам СССР в течение 1989–1990 гг. очистить морское побережье от списанных и брошенных судов (по состоянию на 1 января 1988 г. насчитывалось около 350 объектов ВМФ суммарным водоизмещением около 400 тыс. т). В соответствии с данным распоряжением в ВМФ были сформированы специальные подразделения – восемь штатных технических судоподъемных отрядов (ТСПО) для подъема судов в прибрежной полосе и гаванях. Этим же распоряжением предусматривалось строительство заводов по разделке и переработке списанных судов во Владивостоке, Мурманске, Таллине и Новороссийске суммарной мощностью 290 тыс. т металла в год.

Для аренды у Министерства морского флота и других ведомств плавкранов большой грузоподъемности выделялись соответствующие финансовые средства. За два года (1989–1990 гг.) деятельность ТСПО было поднято около трети планируемого объема – 125 судов суммарным водоизмещением 67420 т, из которых 80 судов поднято плавкранами, 38 – откачкой воды из отсеков, 7 – с помощью понтонов. При этом были подняты самые простые для подъема объекты, затопленные на небольшой глубине. Для полного решения задачи по очистке побережья морей и рек от списанных и брошенных судов потребовалось бы около шести-восьми лет. В 1991 г. фи-

нансирование ТСПО было прекращено, отряды расформированы [2].

Анализ деятельности ТСПО позволил выявить проблемы подъема ЗО. Во-первых, выявилась необходимость комплексного решения задач по очистке морского побережья от ЗО, т.е. одновременно должна решаться задача разделки судов на судоразделочных базах, пропускная способность которых до настоящего времени не обеспечивает разделку даже списанных судов. После подъема в ожидании разделки многие суда неоднократно тонули, и их приходилось поднимать по нескольку раз. Таким образом, отвлекались силы и средства ТСПО и увеличивалась стоимость судоподъема.

Во-вторых, опыт работ 1989–1990 гг. еще раз подчеркнул недостаточную техническую оснащенность штатных подразделений ВМФ, в первую очередь плавкранами большой (300 т и более) грузоподъемности, необходимых для подъема судов в прибрежных районах. Следует иметь в виду, что способ подъема с использованием плавкранов наиболее распространен. ТСПО испытывали серьезную нехватку не только плавкранов, но и продувочных компрессоров, электронасосов, автотракторной техники.

Наконец, анализ деятельности ТСПО подтвердил обязательную необходимость финансирования судоподъемных работ со стороны государства. Экономические аспекты судоподъема заключаются главным образом в расчистке причалов и фарватеров для их нормальной эксплуатации, в освобождении акваторий портов от ЗО при их реконструкции, в ликвидации экологически опасных ЗО.

Продажа поднятого судна на металлолом не окупает расходов по его подъему даже с малых глубин. Поэтому многочисленные коммерческие предприятия, которые пытались заняться судоподъемом, быстро отошли в сторону. Что касается подъема ЗО с больших глубин, то затраты на такие работы на несколько порядков выше по сравнению с затратами на подъем с малых глубин. Глубоководные подъемные работы требуют крупных финансовых затрат, соизмеримых, а чаще всего превышающих стоимость ЗО [12].

Богатейшая практика уникальных судоподъемных работ в нашей стране подтвердила эффективность создания специальных формирований – экспедиций особого назначения (ЭОН) для выполнения судоподъемных работ, таких как подъем золота с английского корабля «Черный принц» на Черном море в 1923–1926 гг., подъем линко-

ра «Новороссийск» в 1956–1957 гг., подводной лодки С-80 с глубины 200 м в 1969 г., очистке порта Читтагонг от мин и затопленных судов в 1972–1974 гг. в Народной Республике Бангладеш. Экспедиция подводных работ особого назначения (ЭПРОН), созданная 17 декабря 1923 г. приказом ОГПУ № 528 только для поиска и подъема золота с английского корабля «Черный принц», смогла в 20-е гг. собрать не только распыленные по всей стране водолазные кадры и специальное оборудование, но и сконцентрировать в своих руках все судоподъемные и подводно-технические работы. Постановлением Совета Труда и Оборона от 1 января 1931 г. на ЭПРОН кроме судоподъемных работ были возложены обязанности по выполнению аварийно-спасательных, водолазно-строительных и опытно-подводных работ. ЭПРОН в 30-е гг. была единой государственной военизированной аварийно-спасательной службой страны, организационно входившей в состав Народного комиссариата водного транспорта, но в оперативном отношении при выполнении аварийно-спасательных работ была подчинена наркому по военным и морским делам. Перед войной ЭПРОН представлял достаточно развитую и мощную организацию, имевшую в своем составе 28 спасательных судов и спасательных буксиров, 50 водолазных ботов, плавбазы, килекторы и другие специализированные суда. В первый же день начавшейся войны с Германией Приказом Народного комиссара (НК) ВМФ СССР и НК Морского флота СССР от 22 июня 1941 г. № 0525/22 с ЭПРОН была передана в состав ВМФ. Приказом НК ВМФ от 2.06.1942 г. № 0469 ЭПРОН была переименована в Аварийно-спасательную и судоподъемную службу (АССС) ВМФ (с 03.01.1944 г. АСС ВМФ).

Исторический опыт показывает необходимость создания организационно сформированной совокупности сил и средств, находящихся в эксплуатации в различных ведомствах, способных совместно функционировать со специально построенными в короткие сроки техническими устройствами в виде целевого комплекса средств подъема ЗО органически дополняющих базовые элементы (доки, краны и т.д.), уже построенные и используемые в повседневной деятельности [12].

Ни одно ведомство сегодня, к сожалению, не в состоянии самостоятельно решать проблему подъема ЗО в полном объеме: нет достаточно мощных технических средств, отсутствуют возможности для изготовления техно-



Рис. 4. Многофункциональное крановое судно «Микопери-30», обладающее поворотным и неповоротным крановыми строениями

гической оснастки, нет достаточного количества опытных специалистов. Например, подъем 700-тонного дизель-электрохода «Булгария» в 2011 г. выполнен координированными усилиями Минтранса, МЧС России и ВМФ, подъем большого противолодочного корабля «Очаков» в 2014 г. силами ВМФ потребовал привлечения предприятия «Севзапканат» для изготовления судоподъемных стропов. Подъем ЗО в настоящий момент возможен в пределах грузоподъемности нескольких сравнительно небольших плавкранов или нескольких пар стальных 200- или 400-тонных стальных судоподъемных понтонов. Сегодня парк понтонов сократился многократно, а техническое

состояние большинства оставшихся требует капитального ремонта. Судоподъемный понтонный комплекс, принятый на снабжение ВМФ в 1989 г., не заказывается и не выпускается.

В значительной степени развитие средств подъема ЗО в каждом из ведомств, перед которым стоят соответствующие задачи (МЧС России, ВМФ, Морспасслужба Росморречфлота) определяется утвержденными требованиями к этим средствам в соответствии не только с текущими, но и перспективными задачами. Отсутствие таких требований не только не является стимулом для развития сил и средств подъема ЗО, но и в определенной степени тормозит их развитие. Существующее

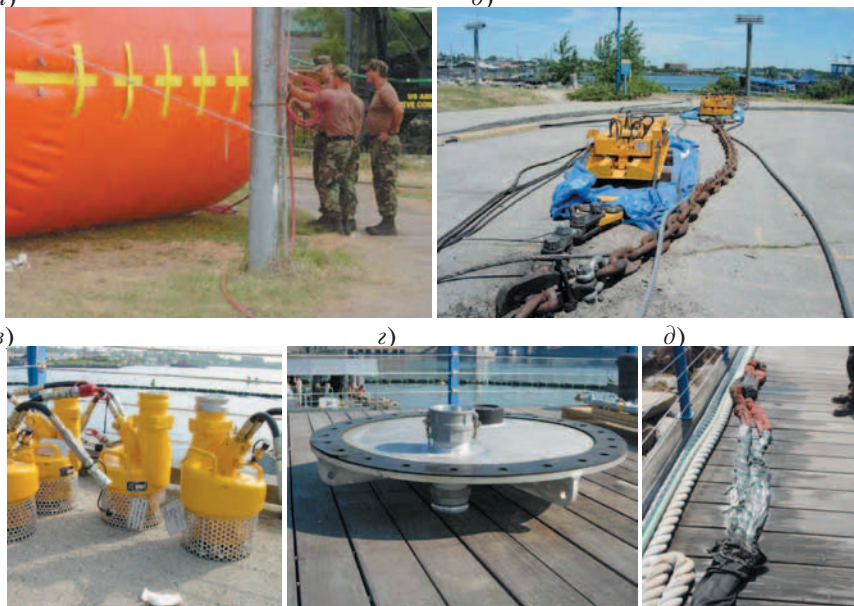


Рис. 5. Перспективные специализированные технические средства судоподъема: а – 45-ти тонные мягкие понтоны с тракторами, б – гидравлические домкраты, в – гидравлические насосы, г – люковые закрытия, д – круглопрядные стропы

положение дел с развитием судоподъемной техники осложняется и отсутствием единой технической политики, согласованных межведомственных требований к средствам и технологиям подъема ЗО, низким уровнем унификации и стандартизации сил и средств подъема ЗО. Многие проблемы подъема ЗО являются следствием нерешенных проблем развития федеральной системы поисково-спасательного обеспечения морской деятельности РФ.

Необходимо создание комбинированных плавкранов большой грузоподъемности, оборудованных 100-тонным поворотным строением и неповоротным заваливающимся порталом с двумя 200-тонными подъемами и двумя палубными гинями с тяговым усилием по 200 тс по типу многофункционального кранового судна «Микопери-30» (рис. 4).

Программы по развитию средств подъема ЗО должны предусматривать создание мягких и стальных судоподъемных понтонов путем применения новых материалов и унификации конструктивных элементов (рис. 5).

При подъеме ЗО с больших глубин ключевую роль будут играть телеуправляемые необитаемые подводные аппараты, вооруженные необходимым навесным оборудованием для остропки ЗО, сварки, резки, размыва грунта.

Результаты проработок специалистов [14] показывают наличие технической и технологической возможности подъема ЗО, в том числе и в Арктике, с преимущественным применением имеющихся в настоящее время в России технических средств. Принцип приложения к поднимаемому объекту распределенных подъемных усилий, создаваемых техническими средствами относительно малой мощности – гидравлическими тросовыми домкратами, реализованный при подъеме АПК «Курск» (рис. 6), был использован при строительстве Крымского моста через Керченский пролив. Речь идет об освоении в эксплуатации гидравлических тросовых домкратов и технологических понтонов (баржах-площадках), с помощью которых осенью 2017 г. были успешно установлены железнодорожная и автомобильная арки



Рис. 6. Баржа «Гигант-4» и смонтированный на ней судоподъемный комплекс для подъема АПЛ К-141 «Курск»



Рис. 7. Установка железнодорожной и автомобильной арок Крымского моста через Керченский пролив

Крымского моста через Керченский пролив. Арки весом 6000 и 4500 тс соответственно были последовательно доставлены к месту работ на двух сдвоенных баржах-площадках и подняты шестнадцать гидравлическими домкратами (рис. 7). В настоящее время компания-владелец домкратов ищет возможности его дальнейшего применения, в том числе и для

судоподъема. Арочный пролет весом 6000 тс был поднят шестнадцатью 650-тонными домкратами. Владелец системы из 28 гидравлических домкратов и 16 силовых блоков с системой управления и синхронизации является российское предприятие ООО «Нева-Металл Трэйд». ■

Продолжение следует

Сверхпроводимость характеризуется отсутствием (в определенных условиях) у ряда материалов сопротивления электрическому току. Это явление известно уже около 100 лет, однако только в последние десятилетия начинает находить практическое применение. Особенно интенсивно работы в этом направлении стали проводиться с появлением в 1986 г. высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). На начальном этапе переход наилучших из них в сверхпроводящее состояние осуществлялся не при температуре жидкого гелия (около 0 К), а при температуре жидкого азота (77 К). В начале этого, 2020-го, года в России научились «предсказывать и экспериментально создавать материалы, которые обладают свойствами сверхпроводимости при более высоких температурах» [1]. Достигнутые успехи в этом направлении и широкий поиск новых ВТСП вызывает значительный интерес у разработчиков приборов и устройств на их основе.

В данной статье рассмотрено 10 разработанных нами новых способов создания средств навигации. Перспективы использования сверхпроводимости связаны с уникальными эффектами и явлениями, которые наблюдаются лишь в этих условиях. К настоящему времени у сверхпроводящих материалов и приборов на их основе выявлено значительное количество своеобразных физических свойств. Ряд этих свойств представляет для рассматриваемой проблемы несомненный интерес.

Основными направлениями развития современных средств навигации, в первую очередь для подводных лодок (ПЛ), является дальнейшее повышение их точности, скрытности работы и сокращения времени приведения в рабочее состояние. Поскольку точность средств навигации ПЛ (их навигационного комплекса) определяется используемыми в их инерциальных системах (ИНС) гироскопами и акселерометрами, анализ вопроса целесообразно начать с анализа возможных путей создания их новых типов.

СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ (КРИОГЕННЫЕ) ГИРОСКОПЫ

В гироскопах рассматриваемого типа, получивших название криогенных, используется сверхпроводящий магнитный подвес, основанный на идеальном диамагнетизме сверхпроводящих тел. Подбором конфигурации магнитного поля подвешиваемых катушек можно добиться такого положения, когда взвешенный сверхпроводниковый ротор будет находиться в состоянии устойчивого равновесия. Такой подвес обладает рядом положительных особенностей:

- он может работать в вакууме;

НОВЫЕ СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

*П.И. Малеев, д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник АО «ГНИНГИ»,
контакт. тел. +7(960)283 2609*

- в нем практически отсутствует трение;
- он обеспечивает намного большую подъемную силу по сравнению с другими неконтактными подвесами;
- после включения не нуждается в источнике тока, следовательно, не боится его отключения;
- электрические потери в нем ничтожны, что повышает стабильность;
- позволяет использовать в качестве датчиков положения и угла наиболее чувствительные к магнитному полю сверхпроводящие квантовые интерферометрические датчики (СКВИДЫ).

Несмотря на эти и другие положительные стороны криогенных гироскопов и широкий фронт работ по их созданию, добиться ожидаемых высоких точностей оказалось непростым. Одна из причин такого положения состоит в том, что в описанных конструкциях таких гироскопов для получения высоких точностей необходимо обеспечить высокую (на уровне 10^{-7} см) точность сферичности всей поверхности ротора и внутренней поверхности корпуса гироскопа. Добиться этого на известных сверхпроводящих материалах и в обычных условиях весьма сложно. Еще сложнее сохранить эти точности при переводе гироскопа в условия рабочих сверхнизких температур.

Сверхпроводящий гироскоп с неполностью сферическим ротором. С целью уменьшения требований к сферичности ротора и внутренней поверхности корпуса при сохранении инвариантности по отношению к произвольным его поворотам, а также сокращения поверхностей, требующих высокой точности изготовления, нами предложено использовать экранирующие по отношению к магнитному полю свойства сверхпроводника. Реализация этого предложения позволила выдвинуть несколько вариантов конструкции свободного криогенного гироскопа. Один из таких вариантов, защищенный авторским свидетельством на изобретение, изображен на рис. 1 [2].

В этом варианте полярные и экваториальные области ротора 1 экранируются от магнитного поля массивными сверхпроводящими экранами 4. Подвес ротора осуществляется системой катушек 2, которые создают магнитное поле подвеса ротора. На верхнем его полюсе расположено зеркало 3, которое

совместно с источником света и двухкоординатным регистратором отраженных лучей служит для регистрации угловых положений ротора.

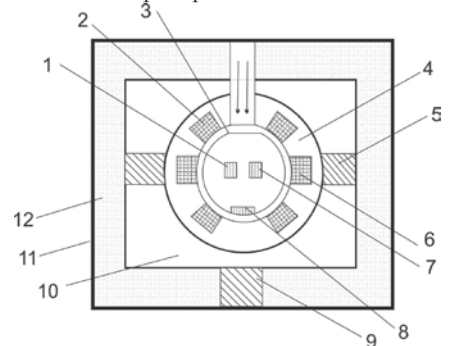


Рис. 1. Схема свободного криогенного гироскопа с неполностью сферическим ротором

В нижней части ротора расположены моментные катушки 8, связанные с двухкоординатным регистратором света. Наличие экрана в экваториальной части ротора позволяет располагать в этой части статорные катушки 6 двигателя, а на самом роторе делать окна или проточки 7 для создания вращающегося момента ротору. Катушки 2 и 6 крепятся к экрану 4, а экран с помощью держателя 5 в корпусе гироскопа 10, который удерживается в криостате 11 с жидким гелием 12 с помощью упора 9. Специально поставленные и выполненные в криогенной лаборатории ФИ АН СССР экспериментальные исследования подтвердили эффективность предложенной схемы экранирования частей ротора.

Сверхпроводящий гироскоп с разгоном ротора. Для обеспечения высокой точности гироскопа поверхность его ротора должна представлять собой идеальную сферу. Наличие на поверхности царапин, вмятин и т. п. приводит к сцеплению с ними магнитного поля подвеса и возникновению возмущающего момента, т. е. к снижению точности.

Поскольку магнитное поле не проникает в сверхпроводник, разгон гладкого ротора не может быть осуществлен с помощью вращающегося магнитного поля, как это делается в обычных гироскопах. Именно поэтому в гироскопе, изображенном на рис. 1, на поверхности ротора имеются окна (пазы) 7, в которые «входит» и на края которых «давит» вращающееся магнитное поле, разгоняя тем самым ротор. К сожалению, такое нару-

шение поверхности ротора, несмотря на наличие сверхпроводящего экранирования 4 этих окон, ведет к уменьшению точности гироскопа.

С целью исключения погрешностей, связанных с наличием на поверхности свободного криогенного гироскопа окон, в ряде зарубежных вариантов криогенных гироскопов для разгона ротора используют струи газообразного гелия [3, 4]. Однако метод разгона ротора в этих вариантах гироскопов обладает одним существенным недостатком, а именно: неавтономностью, что делает такой гироскоп малоприменимым для использования на подвижных объектах. Дело в том, что согласно [5], для разгона ротора диаметром 40 мм до скорости 200 Гц необходимо использовать 1 л жидкого гелия (700 л газообразного гелия). Кроме этого, необходимо подключение и отключение высоковакуумного насоса. Этот насос должен создать необходимый для разгона перепад давления, а затем откачать полость до давления 10^{-7} – 10^{-8} тор.

Нами предложен криогенный гироскоп с газовым разгоном ротора, лишенный этих недостатков [6]. Принципиальная схема этого гироскопа приведена на рис 2.

Он имеет сферический ротор 2, взвешенный в сверхпроводящем магнитном подвесе 6, два сорбционных вакуумных насоса 1 с пленкой из алюминия. Насосы выполнены в виде спирали, через которую пропускается ток. Это позволяет нагревать пленку, изменять количество сорбированного гелия и тем самым менять давление в камере гироскопа. Кроме того, гироскоп имеет турбинку 4 для сжатия газа и создания перепада давления. Газ под давлением поступает через сопло 3 по касательной к поверхности ротора и приводит его во вращение. Из полости он вновь подается в турбинку 5, которая раскручивается за лопасти сверхпроводящим двигателем.

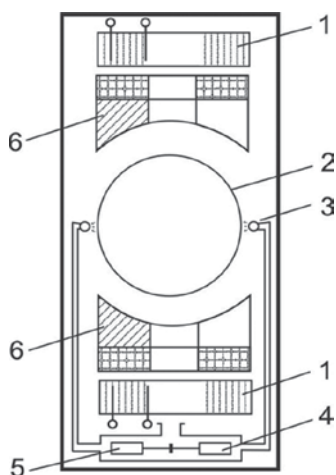


Рис. 2. Схема криогенного гироскопа с газовым разгоном ротора

Разгон газом сверхпроводящего сферического ротора весьма перспективен,

так как газ не взаимодействует с полем подвеса и не создает каких-либо помех. После разгона полость вакуумируется и ротор вращается на «выбеге», постепенно тормозясь об остаточный газ. При глубоком вакууме, как показывают исследования, время выбега ротора до остановки может составлять года.

Использование сверхпроводимости позволяет создавать и оригинальные способы управления магнитным подвесом [7].

СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ АКСЕЛЕРОМЕТРЫ

Конструктивно сверхпроводниковые акселерометры проще. Их применение в ИНС будет целесообразно при совместном использовании со сверхпроводниковыми гироскопами и другими криогенными элементами и системами. Использование явлений сверхпроводимости позволяет (по сравнению с обычным вариантом) на порядки повысить чувствительность и стабильность выходных характеристик таких акселерометров. Чувствительность отдельных образцов акселерометров, созданных для проведения уникальных физических экспериментов, достигает 10^{-13} – 10^{-17} g.

В интересах совершенствования рассматриваемых акселерометров нами предложено два варианта таких акселерометров: универсальный криогенный измеритель линейного ускорения [8] и криогенный измеритель линейных ускорений [9].

Повышение точности гироскопов и акселерометров – важная задача навигационного приборостроения. Однако для обеспечения требуемой уже в настоящее время точности выработки навигационных параметров одновременно необходимо решать проблему учета или компенсации в корабельных условиях влияния аномалий гравитационного поля Земли и, в частности, отклонения отвесной линии (УОЛ). Это возможно при использовании в корабельных условиях высокоточных гравиметров либо гравитационных градиентометров.

ГРАВИМЕТРЫ, ГРАВИТАЦИОННЫЕ ГРАДИЕНТОМЕТРЫ И ИХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Погрешность в определении отклонения отвесной линии (УОЛ), равная 1 угл. с., ведет к методической погрешности в определении места объекта инерциальной навигационной системой (ИНС) – больше 30 м, а УОЛ в океане может достигать 60–90 угл. с. В настоящее время УОЛ в Мировом океане определяется гравиметрическим методом и методом спутниковой альтиметрии. В результате дальнейшего повышения точности автономной навигации с по-

мощью ИНС без решения проблемы определения УОЛ практически невозможно. Для обеспечения же точности определения УОЛ в 1 угл. с. необходимо измерение с предельной погрешностью не более 1 Этвеша (1 Этв. = 0,1 мГл/км). Предельная погрешность в 1 Этв. соответствует изменению значения компонента вектора ускорения силы тяжести 10^{-11} g (10^{-10} мс²) на расстоянии 10 см. При этом на морском объекте имеют место:

- линейные вибрации с частотой 1–35 Гц и амплитудой (по ускорению) до 1g;
- ускорения движения – 10^{-1} – 10^{-2} g;
- качки и рыскания в частотном диапазоне 0,03–0,2 Гц.

Все это указывает на значительные сложности создания морских гравиметрических приборов, обладающих требуемой точностью.

Наиболее совершенные современные морские гравиметры и аэрогравиметрические измерители имеют погрешность σ около 1 мГл. Точность σ спутниковой альтиметрии оценивается в 10 мГл.

В настоящее время известны два явления в области сверхпроводимости, на основе которых может быть создан магнитный подвес чувствительной массы гравиметрических приборов:

- эффект Браунбека, заключающийся в возможности осуществления устойчивой динамической системы со свободным телом, при наличии в системе диамагнитных тел;
- эффект «магнитная потенциальная яма» (МПЯ), суть которого рассмотрена ниже.

Сообщение об одном из первых гравиметров со сверхпроводящим магнитным подвесом на основе эффекта Браунбека появилось в 1968 г. [10]. Инерционное тело – алюминиевая полая сфера диаметром 25,4 мм и весом 4,5 г, покрытая слоем свинца, – была подвешена в магнитном поле двух сверхпроводящих короткозамкнутых катушек диаметром 58 мм.

К настоящему времени в мире изготовлено несколько вариантов таких гравиметров. К сожалению, эти гравиметры стационарны. Они непригодны для использования на подвижных объектах.

Эффект «магнитная потенциальная яма» (МПЯ) был открыт В. В. Козорезом в 1975 г. [11]. Суть этого эффекта можно пояснить следующим образом: Известно, что при сближении двух магнитов разноименными полюсами имеет место притяжение вплоть до их слипания. Одноименные полюса, наоборот, отталкиваются, разъединяя магниты. Если же мы имеем идеально электропроводящий виток с током, в частности кольцо сверхпроводника с током,

то такое кольцо создает магнитное поле. Если взять два таких витка и поместить их соосно, то силы их взаимодействия при каком-то расстоянии между ними превращаются в ноль. При сближении действуют силы отталкивания, а при удалении – силы притяжения. Таким образом, МПЯ – это магнитный упругий элемент, действующий не контактно через пространство и способный воспринимать очень большие усилия, по оценке до 500 кг/см², тогда как гидродинамическая опора для сравнения – 12–15 кг/см². Это позволяет надеяться на создание ряда принципиально новых высокоточных приборов, в частности, таких, как гравиметры, гравитационные градиентометры, акселерометры и т. п. Более того, МПЯ позволяет создавать чувствительные элементы, способные регистрировать не только линейные смещения, но и угловые координаты. В этом случае можно создавать инерциальные навигационные системы на основе одного универсального датчика.

Сравнивая МПЯ подвес со сверхпроводящим на эффекте диамагнетизма отталкивания, необходимо отметить, что в первом случае развиваемая сила взаимодействия может быть реализована в зоне «мягкой подвески». Это при той же чувствительности измерителя смещения увеличивает чувствительность подвеса к внешним воздействиям. Существенно отметить также и то, что если сверхпроводящий подвес на основе эффекта Браунбека сохраняет работоспособность в полях порядка 10³ эрстед, то магнитомный подвес может быть реализован в полях порядка 10⁵ эрстед. Это приводит к тому, что в МПЯ подвесе может быть достигнуто значительно большая подъемная сила (до 100 кг/см² вместо 50 г/см² в опоре на основе эффекта Браунбека).

Исторически первой схемой использования МПЯ подвеса в гравиметрии следует считать схему по авторскому свидетельству А. Кораваева и В. Козореза [12]. Измерительная часть предложенного ими чувствительного гравиметрического элемента (ЧГЭ) представляет собой аналог пружинных весов, в котором роль упругого элемента играет взаимодействие сверхпроводящих колец 3 и 2 (рис. 3).

Затем последовал целый ряд предложений, улучшающих эту базовую конструкцию (ЧГЭ) с МПЯ подвесом инерционной массы.

Как известно, на работу гравиметрических приборов весьма существенное влияние оказывает вибрация. Проведенные нами исследования показали, что использование МПЯ подвеса инерционной массы позволяет эффективно бороться с этим вредным влиянием

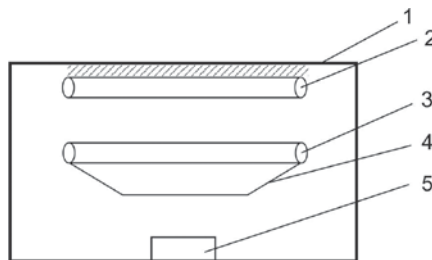


Рис. 3. Схема простейшего варианта чувствительного гравиметрического элемента (ЧГЭ) на эффекте магнитной потенциальной ямы
1 – корпус; 2 – неподвижное, закрепленное на корпусе сверхпроводящее кольцо; 3 – сверхпроводящее кольцо на подвижной инерционной массе; 4 – инерционная масса; 5 – элемент сдвига перемещения инерционной массы (в качестве такого элемента целесообразно использовать сверхпроводящий квантовый интерферометрический датчик – СКВИД)

уже в самом чувствительном элементе за счет обеспечения в нем пассивной фильтрации. Существование этой фильтрации состоит в том, что на основе МПЯ подвеса можно подвесить не только одно инерционное тело со сверхпроводящим витком, но целую связку таких тел в виде гирлянды. Конструктивно такая схема упругого элемента гравиметрического прибора изображена на рис. 4.

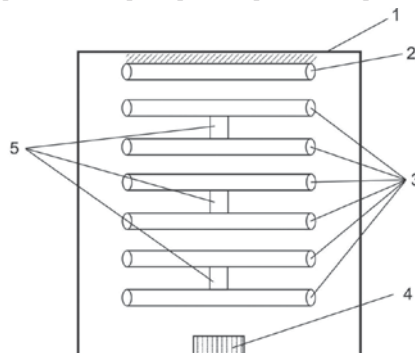


Рис. 4. Схема ЧГЭ типа «гирлянда» на магнитном эффекте
1 – корпус; 2 – неподвижный сверхпроводящий виток или катушка, работающая в режиме замороженного магнитного потока; 3 – сверхпроводящие кольца, размещенные на торцах магнитов 5 с вертикальной осью; 4 – элемент сдвига

Свойства магнитного подвеса связки маятников отличаются от подвеса одного маятника тем, что при наличии вибрации основания с частотой W амплитуды колебаний маятников зависят от того больше или меньше частота собственных колебаний W_i каждого свободного маятника частоты W . Если W_i одинаковы и $W_i < W$, амплитуды колебаний маятников по мере удаления от вибрирующего основания уменьшаются по закону экспоненты. Если же $W_i > W$, амплитуды меняются по закону косинуса. Этот вывод получен нами из теории колебаний [13]. Из него следует, что для уменьшения вредного влияния вибрации на точность

гравиметрических измерений необходимо осуществлять подвес не одного, а нескольких тел.

Существенно подчеркнуть, что магнитомный подвес является одним из немногих устойчивых неуправляемых подвесов, на основе которого инерционная масса может быть выполнена в виде гирлянды и который может обеспечить пассивную фильтрацию вибрации внутри самого чувствительного элемента. При этом не требуется использования промежуточных упругих элементов низкой частоты, обладающих значительными массогабаритными параметрами.

В развитии идеи создания ЧГЭ в виде гирлянды нами предложено несколько вариантов ЧГЭ, слабо подверженных влиянию вибрации основания. В первых предложенных вариантах таких ЧГЭ [14,15] регистратор смещения инерционной массы, СКВИД, размещался в зоне смещений наименьшего магнитно-подвешенного тела. В заявленном позднее варианте [16] чувствительный элемент выполнен в виде магнитно-связанных, смещенных по вертикали и входящих друг в друга с зазором свободных тел, в форме боковых граней правильных призм с общей вертикальной осью. Токонесущие элементы выполнены в виде наборов витков с горизонтальной осью магнитного поля и малым отношением горизонтального размера к вертикальному размеру каждого витка. Это дает возможность получить магнитную связку последовательно расположенных свободных тел с малой жесткостью взаимодействия при осевых смещениях относительно друг друга и с большей жесткостью при боковых смещениях. Объясняется это различием изменений взаимной индуктивности пары витков с таким отношением размеров при различных смещениях. Жесткость и частота свободных колебаний при боковых смещениях может в сотни раз превышать частоту собственных колебаний при осевом смещении. Это повышает точность измерений за счет частотного выделения полезного сигнала. Подбором геометрических и магнитных параметров может быть обеспечена частота собственных колебаний каждого свободного тела не более 0,1–1 Гц, тогда как частота вибрации корпуса гравиметрического прибора на подвижном объекте – порядка 10²–10³ Гц. Используя формулы, приведенные в [13], можно показать, что для уменьшения действия вибрации корпуса на инерционное тело в 10⁵ раз достаточно использовать связку из трех-четырех маятников.

Использование чувствительного элемента в виде гирлянды позволяет измерять не только ускорение силы тяжести, но и вертикальный градиент

этой силы. С этой целью, как показано в нашем предложении [17], достаточно ввести в гравиметр дополнительный регистратор смещений инерционной массы и разместить регистраторы на двух соседних наинизших магнитно подвешенных телах инерционной массы.

Дальнейшее развитие идеи использования в гравиметрии пассивной фильтрации вредного влияния вибрации отражено в нашем новом варианте ЧГЭ [18]. Существо этого ЧГЭ сводится к тому, что на предпоследнем теле инерционной массы в виде гирлянды на расстоянии, исключая влияние магнитных полей подвесов, устанавливается источник постоянного магнитного поля (например, в виде короткозамкнутого сверхпроводящего витка с током), а на последнем теле инерционной массы укрепляется короткозамкнутый сверхпроводящий контур в виде двух разнесенных и соединенных двухпроводной линией катушек. Одна из этих катушек индуктивно связана с источником постоянного магнитного поля, а другая – с антенной СКВИД, используемого в качестве регистратора смещения. Важно при этом, что антенна СКВИД выполнена в виде длинного соленоида, соосного инерционной массе. Об изменении гравитационного поля судят по показаниям СКВИД, пропорциональным величине зазора между последними телами инерционной массы.

Анализ [19] показывает, что взаимная индуктивность длинного соленоида и соосной с ним короткой катушки при условии малого отклонения катушки от середины соленоида изменяется очень слабо. В этих условиях, как можно показать, возможная точность гравиметрического прибора уже не ограничивается уровнем вибрации основания и достигает на порядки более высоких значений.

Дальнейшим развитием идеи создания высокоточных морских гравиметрических приборов на магнитоямном эффекте является использование подвеса инерционной массы в виде растяжки на компенсационном принципе. Существо компенсационного принципа можно пояснить с помощью рис. 5.

Инерционная масса 4 (рис. 5, а) содержит на торцах два сверхпроводящих кольца 3, соосных измеряемой гравитационной силе, и приемный виток-антенну 5 СКВИД 6, закрепленного вместе со сверхпроводящими короткозамкнутыми кольцами 2 и управляющими катушками 7 на основании прибора. Показания СКВИД 6 связаны с управляющей системой (на рис. 5 не показана), автоматически поддерживающей такие токи I_1 и I_2 в верхней и нижней управляющих катушках 7, которые исключают смещение инерционной массы 4 вдоль оси чувствительности Z при наличии

гравитационных (или инерционных) воздействий в направлении оси Z . В отсутствие управляющих токов графики сил верхнего и нижнего подвеса изображены двумя кривыми (рис. 5, б), симметричными относительно оси Z . Однако не при любых Z , а только при $Z < Z_1$ равновесие под действием этой нулевой силы является устойчивым.

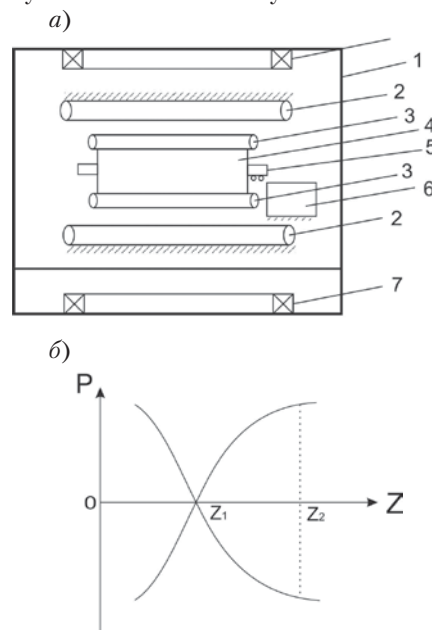


Рис. 5. Схема ЧГЭ на магнитоямном эффекте при использовании компенсационного принципа подвеса инерционной массы

Важной особенностью обладает участок устойчивых равновесий при $Z_1 < Z < Z_2$ по сравнению с участком устойчивых равновесий $0 < Z < Z_1$. Этот участок обеспечивается силами магнитного растяжения, что не вносит неблагоприятного вклада в устойчивость по направлениям, перпендикулярным оси Z . Наоборот, на участке $0 < Z < Z_1$, в котором устойчивость достигается силами магнитного отталкивания, малое смещение в направлениях, перпендикулярных направлению Z , вызовет (будет вызывать) дестабилизирующую силу в направлении возникающего смещения. Это повлияет на возможность достижения устойчивости по направлению, перпендикулярному оси Z , и окажет неблагоприятное воздействие на уменьшение вредного взаимного влияния информационно-измерительных каналов.

Рассмотренные особенности равновесия инерционной массы 4 в направлении оси Z (см. рис. 5, а) в отсутствие внешних сил, действующих вдоль оси Z , позволяют наглядно выяснить вопрос об измерениях сил Pz , возникающих в направлении оси Z . Очевидно, если Pz направлена вниз, в верхней управляющей катушке должен быть запущен ток такой величины и направления, чтобы в точности компенсировать силу Pz . Если Pz направлена вверх, аналогично дол-

жен возникнуть ток в нижней управляющей катушке. При этом мерой силы Pz является величина тока в соответствующей управляющей катушке. Измерение управляющего тока целесообразно осуществлять СКВИД. Поскольку СКВИД – регистрация смещения инерционной массы и СКВИД – измерение токов в управляющих катушках являются одними из наиболее точных способов измерения.

Компенсационные варианты ЧГЭ с магнитоямным подвесом инерционной массы обладают большими потенциальными возможностями радикального повышения точности по сравнению с существующими способами измерения гравитационных и инерционных измерений. Положительные особенности компенсационного принципа реализованы нами в предложении по авторскому свидетельству [20]. В предложенном варианте ЧГЭ использованы две магнитносвязанные между собой осесимметричные гирлянды инерционных масс с общей осью сверхпроводниковых кольцевых токонесящих элементов, совпадающей с осью чувствительности.

Использование магнитоямного подвеса позволяет создавать гравиметрические приборы не только относительных, но и абсолютных измерений ускорения силы тяжести, а также комбинированные гравиметры. Для обеспечения измерения абсолютного значения в рассмотренную ранее принципиальную схему относительного гравиметра необходимо дополнительно ввести элемент возбуждения собственных колебаний инерционной массы (например, импульсный электромагнит) и регистратор положения инерционной массы, способный измерять частоту колебаний инерционной массы.

Как показано в [19], зависимость магнитной силы P и жесткости взаимодействия токонесящих элементов 2 и 3 (см. рис. 5), расположенных на инерционной массе 4 и корпусе от зазора b между плоскостями колец, имеет вид, приведенный на рис. 6.

Зазор b увеличивается до тех пор, пока магнитная сила притяжения не уравновесит гравитационную силу (точка b_1 на рис. 6).

Характер зависимости магнитной силы P_1 от зазора b и геометрии прибора обеспечивает устойчивое свободное взвешивание инерционной массы при условии, что величина зазора b_1 лежит в пределах $b_0 < b < b_{\max}$. В таком состоянии, как отмечалось ранее, гравиметр работает как прибор относительных измерений.

Если теперь на инерционную массу подействовать импульсом магнитного поля, она будет совершать свободные ко-

лебания, частота которых зависит от величины инерционной массы m и жесткости подвеса C_1 в точке b_1 :

$$W_1^2 = C_1/m \quad C_1 = W_1^2/m. \quad (1)$$

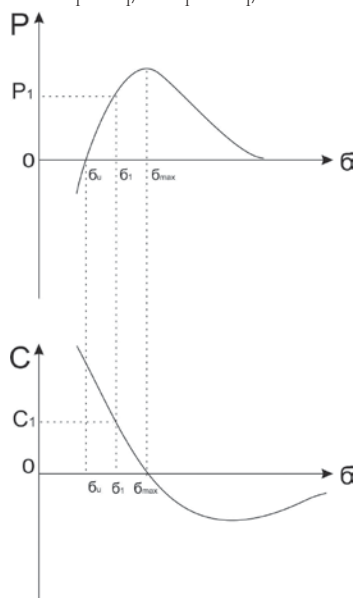


Рис. 6. Зависимость магнитной силы P и жесткости подвеса C от зазора b между плоскостями сверхпроводящих колец

Величина инерционной массы может быть измерена с высокой точностью. Частота также одна из наиболее точно определяемых величин. Поэтому в результате измерения частоты колебаний инерционной массы регистратором с большой точностью становится известной жесткость C_1 в точке b_1 .

Учитывая разбор параметров отдельных элементов гравиметров рассматриваемого типа, каждый конкретный прибор должен быть снабжен собственными кривыми зависимостей магнитной силы P и жесткости C от зазора между плоскостями токонесущих сверхпроводящих колец на корпусе и инерционной массе, измеренными в стационарных условиях. Поскольку значение C_1 уже известно, по кривой $C(b)$ определяется величина b_1 , а затем по кривой $P(b)$ и абсолютное значение магнитной силы P_1 в точке b_1 , которое по величине равно абсолютному значению гравитационной силы. Расчеты показывают, что при изменении гравитационной силы на $1g$ (на рабочем участке) частота собственных колебаний инерционной массы изменяется на величину больше или равную 10 Гц в области десятков-сотен герц. Следовательно, для того чтобы измерить изменение гравитационной силы на $10^{-10} g$, частоту необходимо измерять с точностью порядка 10^{-9} Гц, что вполне реально. Один из вариантов рассмотренных выше комбинированных гравиметров защищен нами авторским свидетельством [22].

МАГНИТОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Сверхпроводниковым магнитометрическим приборам посвящено много работ, из которых можно сделать вывод, что в основе создания большинства из них лежит использование сверхпроводящих квантовых интерферометрических датчиков (СКВИД). Именно они обеспечивают наибольшую чувствительность приборов. Так, чувствительность коммерческих сверхпроводниковых магнитометров составляет порядка 10^{-14} ТлГц $^{-0.5}$, а несерийные обладают чувствительностью на 2–3 порядка выше. Для сравнения, чувствительность протонного магнитометра составляет порядка 10^{-10} Тл, а цезиевого – 10^{-11} Тл.

С помощью сверхпроводниковых магнитометрических датчиков, обладающих недостижимой для других типов чувствительностью, можно создать магнитные градиентометры с базой всего 10–30 см, что позволит отказаться от буксировки датчиков за кормой на расстоянии 100 м и более как это делается в настоящее время при исследовании магнитного поля Земли (МПЗ) с морских объектов. Это, в свою очередь, даст возможность более глубокого изучения МПЗ в интересах картографии и геологии, в том числе геологоразведки, а также создания автономной недемастирующей системы коррекции навигационных комплексов подводных лодок в предварительно подготовленных полигонах.

А если учесть, что МПЗ более «информативное», чем гравитационное поле Земли, возможности коррекции значительно расширятся.

Большой интерес представляют сверхпроводящие магнитные градиентометры (СПМГ). Они позволяют измерять МПЗ на небольшом базовом расстоянии поскольку временные изменения поля обычно коррелированы на значительных расстояниях и СПМГ практически к ним нечувствительны. Поэтому в отличие от магнитометра СПМГ может давать полезную информацию даже в дни магнитной активности солнца.

Кроме того, поскольку магнитное поле и его градиент зависят от векторного расстояния до магнитного источника объединение информации о поле и о градиенте обеспечивает повышение пространственного разрешения источника. Важно и то, что использование лишь магнитометра не позволяет отличить временные изменения магнитного поля от изменений, обусловленных перемещением объекта над стационарными магнитными источниками. Объединенные магнитометр и СПМГ дают

информацию, позволяющую произвести такое отличие.

Следует отметить и тот факт, что нерегистрируемые изменения ориентации объекта по отношению к направлению поля Земли вызывают появление сигнала, который является ограничивающим источником шума для векторных магнитометров. Градиентометры, наоборот, усиливают сигналы от ближайших источников по отношению к окружающему градиенту земного поля. И, наконец, СПМГ обеспечивают независимую информацию о структуре поля. Такая информация, в частности, может быть использована для аналитической экстраполяции поля.

Существенно, что разработка сверхпроводниковых магнитометров и магнитных градиентометров за рубежом ведется и в целях обнаружения подводных лодок на значительных расстояниях, а также для связи с погруженными объектами.

Значительный интерес представляет также разработка высокоэффективных сверхпроводниковых антенн.

Сверхпроводниковые антенны

Отличительной особенностью этих антенн являются их более высокая чувствительность, малый шум, а также то, что их размеры значительно меньше рабочих длин волн.

Известно, что глубина проникновения электромагнитных волн в воду увеличивается с уменьшением их частоты. Трудность приема низкочастотных электромагнитных сигналов на подвижных объектах связана с тем, что возможности размещения антенн для таких волн ограничены, их приходится делать короткими по сравнению с длиной волны. Но такие антенны малоэффективны. Кроме того, усилители в этом диапазоне имеют значительный шум, ухудшающий характеристики антенны.

В плане решения проблемы повышения скрытности ПЛ при использовании радионавигационных систем возможным выход из этого положения в использовании в антенных системах СКВИДов, обладающих, как отмечалось выше, высокой чувствительностью, малыми массогабаритными характеристиками и шумом.

Исследования показывают, что при достигнутой чувствительности СКВИД прием информации на частоте порядка 10^4 Гц возможен на глубине до 100 м. В США была проведена экспериментальная проверка работы такого типа антенны, подтверждающая эту оценку. Появление в последние годы СКВИД на основе высокотемпературных сверхпроводников, работающих при температуре жидкого азота и выше, указывает на реальную возможность создания и использования в условиях пл таких

антенн. Необходимо отметить, что при использовании рассматриваемых антенн значительно легче решаются на пл и вопросы совместимости антенн различного назначения.

Использование сверхпроводников позволяет улучшить и астронавигационные системы.

АСТРОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Улучшение астронавигационных систем может быть достигнуто за счет сверхпроводниковых приемников излучений Солнца, Луны и квазаров, в частности, в инфракрасном и радиодиапазонах, обеспечив тем самым возможность определения координат места и поправки курсоуказания в любое время суток и в любых метеорологических условиях.

Таким образом, использование явления сверхпроводимости открывает широкие возможности для улучшения технических характеристик целого ряда средств навигации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Оганов А.* Это невозможно//Аргументы и факты. –2020. – № 1–2. – С. 7.
2. Авт. св. № 56722 (СССР). Свободный

- криогенный гироскоп с неполностью сферическим ротором/Ершов В. С., Малеев П. И. и др. – Приоритет от 6 октября 1985 г.
3. *Harding J. T.* The cryogenic gyroscope program at jet. – Propulsion Laboratory Final report Technology Pasadena. – California, 1966, July I. – 23 p.
4. *Everitt C. W. F.* The gyroscope experiment. – New York: Academic Press, 1971. – P. 331–360.
5. *Bracken T. D., Everitt C. W. F.* Design of a gas spin-up system for an electrostatically supported cryogenic gyroscope//ADV. Cryog. Eng. –1968. – № 13. – P. 168–173.
6. Авт. св. № 109214 (СССР). Криогенный гироскоп/Левин Л. А., Малеев П. И. и др. – Приоритет от 26. 05. 1976.
7. Патент № 2069312 (СССР). Способ управления сверхпроводящим магнитным подвесом и сверхпроводящий магнитный подвес/Буравлев А. П., Малеев П. И., Мумин О. Л. и др. – Приоритет от 6.05. 1991.
8. Авт. св. № 292482 (СССР). Универсальный криогенный измеритель линейного ускорения/Малеев П. И., Чеборин О. Г. и др. – Приоритет от 10.05. 1988.
9. Авт. св. № 282740 (СССР). Криогенный измеритель линейных ускорений/Буравлев А. П., Малеев П. И., Мумин О. Л. и др. – Приоритет от 5. 06. 1987.
10. *Goodkind J.* Superconducting gravimeter

- University of California. – Final report NASA-CR 169672, 1982, 29 с.
11. *Михалевич В. С., Козорез В. В. и др.* Магнитная потенциальная яма – эффект стабилизации сверхпроводящих динамических систем. – Киев: Наукова Думка, 1991. – 335 с.
12. Авт. св. № 642664 (СССР). Гравиметр/Короваев А., Козорез В. – Приоритет от 07.02.1987.
13. *Кильчевский Н. А.* Курс теоретической механики. – М.: Наука, 1977. – Т. 2. – С. 271–274.
14. Авт. св. № 274850 (СССР). Криогенный гравиметр/Вербицкая Л. В., Малеев П. И. и др. – Приоритет от 20. 08.1987.
15. Авт. св. № 283041 (СССР). Криогенный гравиметр/Козорез В. В., Малеев П. И. и др. – Приоритет от 3 ноября 1987.
16. Авт. св. № 280948 (СССР). Криогенный гравиметр/Козорез В. В., Малеев П. И. и др. – Приоритет от 26 октября 1987.
17. Авт. св. № 305855 (СССР). Криогенный гравиметр/Козорез В. В., Малеев П. И. и др. – Приоритет от 30 января 1989.
18. *Колонтарев П. А., Цейтлин Л. А.* Расчет индуктивностей. – Л.: Энергоиздат. 1986. – 88 с.
19. *Козорез В. В.* Динамика системы магнито-взаимодействующих свободных тел. – Киев: Наука Думка, 1981. – 140 с.
20. Авт. св. № 299185 (СССР). Криогенный гравиметр/Кашкан В. И., Козорез В. В., Малеев П. И. и др. – Приоритет от 21 июня 1988. ■

В конце 1890-х гг. обострилась обстановка на Дальнем Востоке. Япония ускоренными темпами начала развивать и усиливать свой флот, при этом ей активно помогала Великобритания, как всегда опасаящаяся России. В связи с этим возникла острая необходимость усиливать Российский императорский флот на восточных рубежах. Однако отечественные судостроительные заводы были не в состоянии своевременно выполнить «Судостроительную программу для нужд Дальнего Востока 1898». Поэтому в 1898 г. за границей было размещено 259 заказов, самыми крупными из них были: строительство эскадренных броненосцев «Цесаревич», фирма «Forgeset Chanties de la Mediterranee» (Франция) и «Ретвизан», фирма «Крамп» (США); строительство крейсеров «Баян», фирма «Forgeset Chanties de la Mediterranee» (Франция), «Богатырь», фирма «Вулкан» (Германия); «Варяг», фирма «Крамп» (США); «Аскольд», фирма «Германия» (Германия); «Новик», фирма «Шихау» (Германия), а также строительство десяти миноносцев фирмами «Forgeset Chanties de la Mediterranee» (Франция), «Норман» (Франция), «Шихау» (Германия), «Лейрд» (Англия) [1].

Особый интерес представляет строительство в Соединенных Штатах Америки эскадренного броненосца «Ретвизан» и ставшего впоследствии легендарным

РОССИЙСКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННИКИ НА АМЕРИКАНСКОМ СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ (КОНЕЦ XIX - НАЧАЛО XX ВВ.)

Б.А. Барбанель, канд. техн. наук, академик РАЕН, вице-президент РосНТО им. акад. А.Н. Крылова,

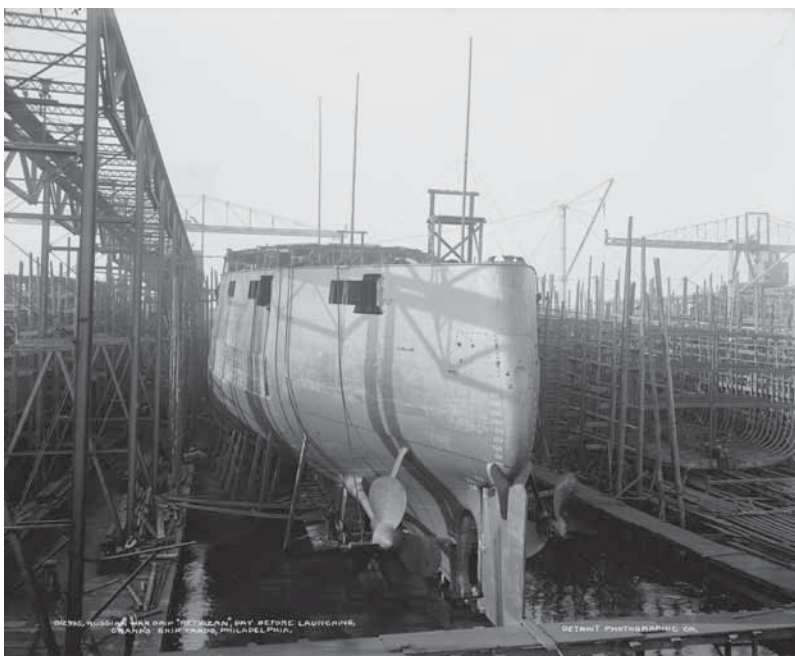
С.В. Федулов, д-р истор. наук, доцент Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского,

Д.А. Косаренко, начальник учебной части – заместитель начальника кафедры Общевоинской подготовки ВУЦ СПбГУ, контакт. тел. (812) 3155027

крейсера «Варяг». Выбор американской фирмы «Вильям Крамп и К°» был обусловлен наличием передовых технологий, высокой квалификацией персонала, большого количества станков и механических инструментов. За счет этого достигалась производительность труда в два-три раза выше, чем на российских верфях.

Это объясняло наличие в составе коммиссии, наблюдающей за строительством эскадренного броненосца «Ретвизан» и крейсера «Варяг», помимо инженеров, офицеров-приемщиков и мастеров российских предприятий. 23 мая 1898 г.

начальник Главного управления кораблестроения и снабжений направил командирю Санкт-Петербургского порта распоряжение № 12427, в котором указывалось: «Управляющий Морским министерством приказал командировать из Санкт-Петербурга в Америку на завод фирмы «Крамп» к постройке заказанных этому заводу броненосца и крейсера двух мастеров в качестве указателей. Это должны быть знающие свое дело, совершенно непьющие, грамотные, опытные, знакомые с кораблестроительными чертежами специалисты. Выбранные специалисты будут командированы в Аме-



Корпус эскадренного броненосца «Ретвизан» на стапеле

рику при условии, что по возвращении они обязаны прослужить при Санкт-Петербургском порту не менее трех лет» [2]. Аналогичные распоряжения от 1 и 10 июня 1898 г. были направлены начальникам Севастопольского и Николаевского портов.

30 мая 1898 г. начальник Санкт-Петербургского порта сообщал начальнику Главного управления кораблестроения и снабжений, что в соответствии с распоряжением рекомендован указателем на завод фирмы «Крамп» Степан Бойков, участвовавший в строительстве крейсера «Аврора» [3]. В характеристике, данной ему начальником порта отмечалось: «Холост, 29 лет, служит при Санкт-Петербургском порте с 1885 г. Знаком с кораблестроительными чертежами, грамотен, исполнитель, совершенно трезвого поведения. Может быть впоследствии весьма полезен, постоянно проявляет желание к усовершенствованию своих познаний» [4].

5 июня 1898 г. в качестве указателя был рекомендован Василий Васильев, участвовавший в строительстве канонерской лодки «Храбрый» [5]. В его характеристике было сказано: «Холост, 26 лет, служит при Санкт-Петербургском порте 9 лет. Получает жалование 47 рублей. Отличается сметливостью, любознательностью. Хорошо знает свое дело, совершенно трезвого поведения, грамотный, прекрасно понимающий чертежи. Учился в уездном училище и в вечерних классах ремесленного училища» [6].

17 июня 1898 г. от Севастопольского порта был рекомендован мастер Прокофий Иванов [7].

Отобранные специалисты среднего производственного звена заключи-

ли с Морским министерством контракт. В нем указывалось: «Для усовершенствования приобретенных познаний и для основательного изучения судостроения быть командированным в Америку на завод «Крампа» в Филадельфии на необходимое для этого время. На этом заводе обязуюсь служить при постройке для Морского ведомства броненосца и крейсера. По прибытии на завод поступаю в распоряжение корабельного инженера, командированного на завод от Морского ведомства для наблюдения за постройкой означенных кораблей, приказанием которого я обязуюсь беспрекословно подчиняться, а также подчиняться как начальству завода, так и правилам для мастеровых, установленных на заводе. На работу обязуюсь выходить ежедневно вместе с другими рабочими и уходить вместе с ними. Все время командировки вести себя честно, трезво, быть к порученным работам прилежным» [8].

В контракте оговаривались вопросы заработной платы и отдельные бытовые вопросы. Проезд в Америку и обратно, денежное довольствие осуществлялось за счет Морского министерства. По приезду в Филадельфию выдавалось единовременное подъемное пособие в размере 100 долларов. Заработная плата российских мастеров составляла 120 долларов в месяц. При этом за каждый день прогула без уважительной причины российские наблюдающие за постройкой кораблей имели право вычесть из неё часть денежных средств. В случае заболевания за границей российские мастера получали половинное больничное жалование, т. е. 60 долларов в месяц. В случае серьезного заболевания, длящегося два месяца, выплата жалования прекращалась, а заболевший должен был возвращаться в Россию за счет Морского ведомства.

Вместе с тем условиями контракта предусматривалось, каким образом можно было использовать полученный российскими мастерами опыт зарубежного производства. «По возвращению в Санкт-Петербург назначить мастеров указателями к постройке судов при Санкт-Петербургском порте с жалованием 75 рублей в месяц. И в этой должности они обязаны прослужить при порте не менее трех лет. По возвращении из Америки обязаны не только наблюдать за порученными работами, но где надо производить работы собственноручно и обучать усвоенному делу других мастеровых» [9].

Как отмечалось ранее, срок сдачи кораблей, в соответствии с условиями контракта, определялся временем прибытия наблюдающей комиссии на завод фирмы «Крамп». 20 мая 1898 г. председатель комиссии, наблюдающий в Филадельфии за постройкой эскадренного броненосца и броненосного крейсера капитан 1 ранга Данилевский прибыл в США. А 28 мая 1898 г. младший судостроитель Белян-



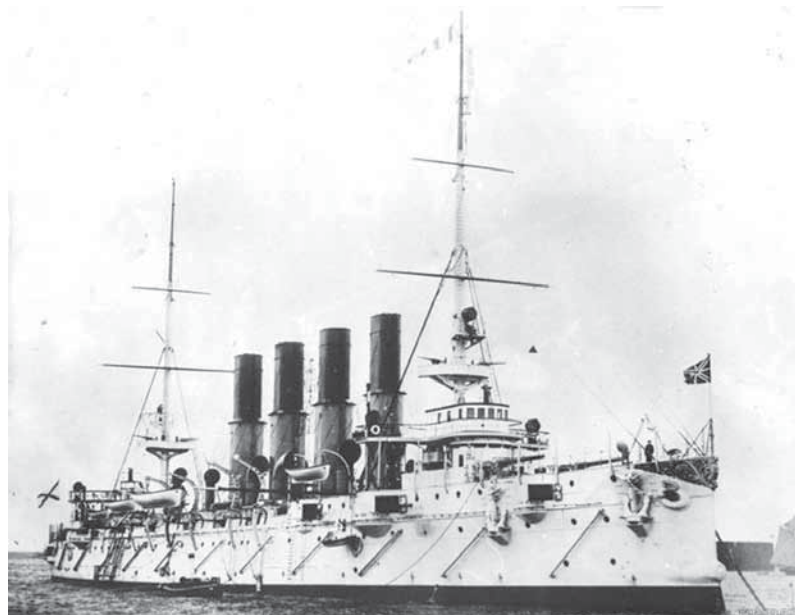
Эскадренный броненосец «Ретвизан» в доке

кин доложил начальнику Главного управления кораблестроения и снабжений о своем убытии на завод фирмы «Крамп» [10].

16 июня 1898 г. начальник Главного кораблестроения и снабжений вице-адмирал В. П. Верховский напоминал начальнику Главного морского штаба вице-адмиралу Ф. К. Авелану о полезности отправить на завод фирмы «Крамп» несколько машинистов, хотя бы в ограниченном количестве.

6 июля 1898 г. мастерам Степану Бойкову, Василию Васильеву и Прокофию Иванову были оформлены заграничные паспорта [11]. Вопросами приёма, размещения членов наблюдающей комиссии и оказание им содействия в работе осуществлял военно-морской агент Российского императорского флота капитан 1 ранга Д. Ф. Мерваго. Он же регулярно докладывал о ходе выполнения работ.

Российские судостроительные предприятия проверяли качество материалов, полноту, точность и своевременность выполняемых работ, соответствие изготовленной продукции чертежам. Инженеры и специалисты среднего производственного звена (мастера) изучали передовые технологические процессы для использования их на отечественных судостроительных заводах [12].



Крейсер «Варяг»

Следует отметить, что артиллерийское вооружение на эскадренный броненосец «Ретвизан» и крейсер «Варяг» было изготовлено на Обуховском, а минное (торпедное) вооружение – на Механическом заводах Санкт-Петербурга [13].

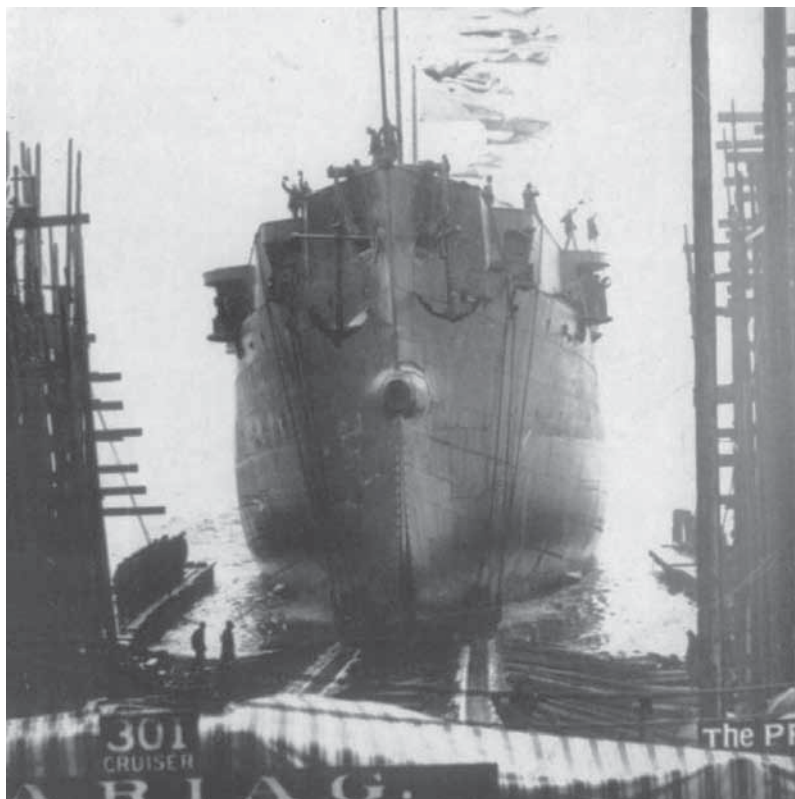
Постройка американской фирмой «Вильям Крамп и К^о» эскадренно-

го броненосца «Ретвизан» обошлось российской казне в 4 358 000 долларов (8 628 840 руб.) по контракту плюс 489 839 долларов за дополнительные и не предусмотренные контрактом работы, а крейсера «Варяг» – 2 138 000 долларов.

Таким образом, решая проблему пополнения судового состава в целях реализации программы усиленного военного судостроения, Морское министерство России активно сотрудничало с иностранными фирмами, одной из которой была американская фирма «Крамп». Российские специалисты, как инженеры, так и производственники, работающие в составе наблюдающей комиссии, приобрели передовой опыт зарубежного кораблестроения и смогли использовать его на отечественных судостроительных предприятиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский государственный исторический архив (далее – РГИА). Ф. 1263. Оп. 4. Д. 36. Л. 52–57.
2. Российский государственный архив ВМФ (далее – РГА ВМФ). Ф. 427. Оп. 1. Д. 390. Л. 232.
3. Там же. Л. 332.
4. Там же. Л. 332.
5. Там же. Л. 339.
6. Там же. Л. 339.
7. Там же. Л. 391.
8. Там же. Л. 197.
9. Там же. Л. 197.
10. Там же. Л. 472.
11. Там же. Л. 392.
12. РГА ВМФ. Ф. 417. Оп. 1. Д. 1964. Л. 2.
13. РГА ВМФ. Ф. 427. Оп. 1. Д. 390. Л. 251–256. ■



Спуск крейсера «Варяг» на воду

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 621.039.53 **Ключевые слова:** универсальный десантный корабль (УДК), постройка, иностранные государства, ВМФ, планы

В.Н. Половинкин, А.Б. Фомичев. Современное состояние и перспективы развития универсальных иностранных государствами десантных кораблей. Часть 2//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 10

Продолжение анализа планов строительства иностранными государствами УДК. Охарактеризованы их особенности. Особое внимание уделено перспективам развития этих кораблей в ВМФ. Начало см. «Морской вестник», 2020, № 2 (74). Т. 2. Ил. 24

УДК 658.003.13:339 **Ключевые слова:** речной круиз, европейский маршрут, тип судна, характеристики, перспективы

А.Г. Егоров. Развитие европейского флота и рынка речных круизов//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 21

Рассмотрены типы речных судов и судов типа «река–море», эксплуатируемых на европейских маршрутах, даны их характеристики, проанализированы их особенности. Особое внимание уделено перспективам расширения речных круизов. Т. 1. Ил. 18. Библиогр. 34 назв.

УДК 629.12.073.243.4 **Ключевые слова:** нелинейные силы второго порядка, метод интегральных уравнений, косые курсовые углы, метод малого параметра, функция Грина

В.Ю. Семенова, Д.А. Альбаев. Определение нелинейных сил второго порядка, возникающих при поперечной качке судов на косых курсовых углах, на основании трехмерной потенциальной теории//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 29

Рассмотрен метод расчета нелинейных сил второго порядка, возникающих при поперечной качке судна на косых курсовых углах, на основании трехмерной потенциальной теории. Для решения задачи использованы метод интегральных уравнений и метод малого параметра. Приведены результаты расчетов нелинейных сил, возникающих при вертикальной, поперечно-горизонтальной и бортовой качке, для различных типов судов и разных курсовых углов. Проанализированы полученные результаты. Т. 1. Ил. 8. Библиогр. 8 назв.

УДК 681.3 **Ключевые слова:** судно, эволюционная динамика, интерпретация, нестационарная среда, вычисление

Ю.И. Нечаев. Модели интерпретации эволюционной динамики судна в нестационарной среде экстренных вычислений//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 34

Рассматриваются теоретические принципы построения концептуальных решений при интерпретации нестационарной динамики судна в функциональных пространствах современной теории катастроф (СТК). Разработанные стратегические решения определяют построение моделей взаимодействия на основе данных испытаний самоходных радиоуправляемых моделей – в условиях резонансной качки, полной потери устойчивости и в режиме «брошинг». Практические приложения разработанной вычислительной технологии ориентированы на использование больших объемов данных Big Data в системах искусственного интеллекта новых поколений, функционизирующих на основе данных динамических измерений в режиме экстренных вычислений (Urgent Computing – UC). Интерпретация моделей нестационарной динамики судна отображается в виртуальной среде современной компьютерной математики с помощью динамических моделей СТК. Ил. 5. Библиогр. 12 назв.

УДК 629.12:532.0419.075.8 **Ключевые слова:** судно, динамическая непотопляемость, бортовая качка, диаграмма статической устойчивости, угол крена, опрокидывание

О.В. Третьяков, П.А. Шауб, С.В. Москвина. Основы динамической непотопляемости судна//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 37

Посвящена исследованию параметров бортовой качки поврежденного корабля или судна в сложных штормовых условиях. Выведена система дифференциальных уравнений качки с учетом нелинейности диаграммы статической устойчивости, наличия затопленных отсеков всех категорий (1, 2, 3), качки, нелинейности, угла крена с использованием методов гармонической линеаризации при любой диаграмме устойчивости, которая рекомендуется при оценке опрокидывания судна. Библиогр. 11 назв.

УДК 629.561.5 **Ключевые слова:** судно, носовая оконечность, геометрия, битый лед, скорость

Е.М. Грамузов, Б.П. Ионон, М.Ю. Сандаков, Н.Е. Тихонова. Влияние геометрии носовой оконечности судна ледового плавания на ходкость в битых льдах//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 40

Геометрия носовой оконечности судна ледового плавания определяет его ледовую ходкость. Рассматривается движение транспортного судна ледового плавания в мелкобитом льду сплошностью 10 баллов. В работе исследуется влияние формы носовой оконечности на ледовое сопротивление. Изучение влияния геометрии обводов на ледовую ходкость велось с помощью модельного эксперимента. Ил. 7. Библиогр. 9 назв.

УДК 629.052:004.046:658.511.3:658.512.3

Ключевые слова: цифровое взаимодействие, информационный обмен, проектно-конструкторские работы, ПЛ малого водоизмещения, интеграция автоматизированных комплексов, унификация, техническое задание, центральный пост, ОКР, НИР, единый подход к проектированию и созданию автоматизированных систем

И.И. Зайцев, Д.В. Шамановский, Е.В. Бутер, М.А. Ахрестин. Роль информационного взаимодействия предприятий при создании комплексов автоматизированных систем управления на примере подводных лодок малого водоизмещения//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 42

Рассмотрены актуальные вопросы цифрового взаимодействия предприятий, участвующих в создании автоматизированных систем управления ПЛ малого водоизмещения, интеграции автоматизированных комплексов и систем, особенности выполнения проектно-конструкторских и технологических, электромонтажных работ. Предложена оптимальная схема взаимодействия при создании комплексов автоматизированных систем управления ПЛ на примере ПЛ малого водоизмещения. Т. 1. Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 593.3 **Ключевые слова:** иллюминатор, обжимная шайба, параметры, стеклоэлемент, высокое давление

Н.М. Вихров, В.П. Лянзберг. Особенности выбора параметров обжимной шайбы иллюминаторов высокого давления со стеклоэлементом в форме оболочки//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 47

О методике выбора параметров обжимной шайбы иллюминатора высокого давления, имеющего стеклоэлемент в форме оболочки. Продолжение исследования. Ил. 1. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.5:621.039 **Ключевые слова:** судостроение, интеграционные процессы, кооперация при строительстве кораблей

А.А. Алексахин, В.В. Дударенко, Л.М. Клячко. Структурные преобразования в судостроении: зарубежный опыт//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 48

Проанализирован современный зарубежный опыт развития судостроения. Выявлены основные тенденции: развитие горизонтальной и вертикальной интеграции, совместное проектирование и строительство кораблей, создание корабельной техники, участие государства в интеграционных процессах. Рассмотрено как реализуются эти тенденции в российском судостроении. Ил. 3. Библиогр. 16 назв.

УДК 330.1 **Ключевые слова:** деньги, капитализм, генезис, трансформация

А.В. Иванкович. Генезис современной денежной цивилизации//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 53

Рассмотрены этапы формирования и развития современной денежной цивилизации, а также особенности каждого из них. Приведен анализ трансформации классических функций денег и стадии самовоспроизведения денежных средств.

УДК 629.5.001.18 **Ключевые слова:** «Адмиралтейские верфи», строительство, модернизация, крупные блоки, кооперация

К.О. Будников. Развитие мощностей АО «Адмиралтейские верфи» для изготовления крупных блоков//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 55

Проанализирована возможность модернизации АО «Адмиралтейские верфи» для перехода к строительству крупными насыщенными блоками с учетом возможности кооперации с другими предприятиями, предусматривающая создание современной сборочной площадки для надводного коммерческого судостроения, строительство которой может быть осуществлено без остановки предприятия и с существенно меньшими затратами, чем создание новых крытых комплексов или сухого дока. Т. 2. Ил. 4. Библиогр. 8 назв.

УДК 621:355 **Ключевые слова:** КБ «Вымпел», пандемия, интернет, организация удаленной работы

Д.А. Баханский. Работа АО «КБ «Вымпел» в условиях режима повышенной готовности//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 59

Подробно показано, как КБ сумело в короткие сроки перестроить процесс работы конструкторов на удалении, благодаря интернет-технологии. Ил. 3.

УДК 65.015.22 **Ключевые слова:** CAD-система, PDM-система, автоматизация технологической подготовки производства

Д.А. Ведерников. Опыт применения интегрированной CAD- и PDM-систем в рамках технологической подготовки производства//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 63

Рассмотрены методика, риски и результат перевода процессов технологической подготовки производства от систем двухмерного проектирования технологических операций к трехмерному с использованием интегрированных CAD- и PDM-систем. Ил. 1. Библиогр. 2 назв.

УДК 621.82 Ключевые слова: изделие, квалификация, комплекс, кран, манипулятор, проектирование, развитие, распределитель, система управления, создание, специалисты

М.А. Александров, Ю.Л. Бородин, А.В. Никитин, Д.А. Скороходов. ЦНИИ Судового Машиностроения – 50 лет на службе Отечеству. Научно-техническое развитие механизмов, устройств и комплексов судового машиностроения для российского судостроения и военного морского флота//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 65

Изложена краткая история творческой деятельности коллектива ЗАО «ЦНИИ СМ» – выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), разработки и создания механизмов, устройств и комплексов специальной техники судового машиностроения с момента создания института до настоящего времени. Рассмотрены современные возможности исследования и проектирования изделий судового машиностроения ЗАО «ЦНИИ СМ». Определены характерные черты их развития, отмечены особенности повышения квалификации сотрудников и подготовки специалистов, также проблемные вопросы по созданию конкурентоспособных изделий судового машиностроения. Ил. 3. Библиогр. 12 назв.

УДК 004.04 Ключевые слова: моделирование, оптимизация, двигателя, дивергенция Кульбака-Лейблера

В.В. Новиков, К.Н. Осипов. К вопросу о минимизации координат вектора диагностических параметров поршневых двигателей внутреннего сгорания//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 70

Обосновывается метод минимизации множества диагностических параметров поршневых двигателей внутреннего сгорания, необходимого для распознавания опасных технических состояний в ходе функционального диагностирования. Предлагаемый метод основан на использовании информационного критерия С. Кульбака в качестве средней меры различающей информации, содержащейся в измерительных последовательностях. Т. 1. Ил. 1. Библиогр. 12 назв.

УДК 678.026 Ключевые слова: термопластичный композит, 3d-печать, расчет и оценка прочности методом конечных элементов

И.В. Плещенков. Изучение аддитивных технологий изготовления тонкостенных деталей термопластичных композиционных материалов для изделий судового машиностроения//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 75

В данной статье освещен механизм оценки применимости 3d-печати с точки зрения эксплуатационных и конструктивных признаков конкретного изделия и конкретной детали для уже освоенного в производстве изделия с помощью цифровых технологий, реализуемых CAE-системами. Ил. 2

УДК 621.316.722.016.3 Ключевые слова: электрическая энергия, пассивные и активные фильтры, электроэнергетическая система

Б.Ф. Дмитриев, С.Я. Галушин, А.Н. Калмыков, Аунг Тху Пхио, А.Д. Егорова. Средства повышения качества электрической энергии в судовых электроэнергетических системах//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 77

Рассмотрены средства повышения качества электрической энергии в судовых энергосистемах, основанные на различных типах структур. В качестве ограничения воздействия нежелательных гармоник напряжения или тока в сети используются пассивные фильтры. В статье приведено обоснование выбора структуры компенсатора неактивной мощности. Ил. 5. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.51 Ключевые слова: компрессор, проектирование, продукция, востребованность

АО «Компрессор» – значит сделано в России//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 83

Об одном из наиболее значимых и известных в РФ и за рубежом научно-производственном объединении. Особое внимание уделено продукции, которое оно проектирует и производит под руководством генерального конструктора Л.Г. Кузнецова. Ил. 4.

УДК 621.352.6 Ключевые слова: водородно-воздушный твердополимерный топливный элемент (ТПТЭ), беспилотный летательный аппарат (БПЛА), энергетическая установка, система управления

А.Г. Юрескул, Е.А. Анисимов, Ю.И. Иванов, Н.А. Фаддеев, Н.В. Смирнова. Система энергоснабжения на основе топливных элементов для беспилотных летательных аппаратов//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 87

Рассмотрены перспективы и особенности систем энергоснабжения беспилотных летательных аппаратов на основе водород-воздушных твердополимерных топливных элементов (ТПТЭ), в том числе применительно к гражданским и военным морским комплексам. Приведена структурная схема системы управления энергетической установкой на основе ТПТЭ. (см. англ.) Ил. 3. Библиогр. 8 назв.

УДК 629.78.064.5 Ключевые слова: автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), аккумуляторная батарея (АБ), топливный элемент (ТЭ), электрохимический генератор (ЭХГ), водородно-кислородный аккумулятор (ВКА), величина разряда АБ, запасы реагентов, судно-носитель

Л.Г. Бакуменко, А.Н. Дядик, М.В. Ларионов, С.Н. Сурин. Интегрированный подход к энергообеспечению автономных необитаемых подводных аппаратов//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 91

Рассмотрено инновационное развитие технологии создания энергетической установки для АНПА малого класса. Большинство таких аппаратов в нашей стране и в других странах оснащаются АБ. Но даже современные литий-никель-марганцевокобальтовые АБ не позволяют АНПА длительно находиться в подводном положении. По этой причине в АО «Концерн «НПО «Аврора» разрабатывает ЭУ АНПА с существенным увеличением энергоемкости путем замены ЛИАБ на ЭХГ водородно-кислородного типа. При этом увеличивается время автономной работы АНПА в 3–4 раза в зависимости от нагрузки. Для размещения необходимого запаса реагентов на борту АНПА используются баллоны из композитных материалов. Система хранения реагентов, включая трубопроводы с арматурой, представляет водородно-кислородный аккумулятор (ВКА). В дальнейшем необходимые реагенты для работы ЭХГ могут быть получены на борту судна-носителя в процессе электролиза воды. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 5 назв.

УДК 621.396.61.001.2 Ключевые слова: режимы класса D и E, мощность потерь, КПД, энергетическая эффективность

Е.А. Рылов. Сферы использования и принципы построения радиостанций СДВ диапазона//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 96

Рассмотрен построение ключевых радиостанций СДВ, работающих в режимах D и E. Использование СДВ диапазона решает значительное число практических задач. СДВ широко используются в системах радиосвязи, радионавигации, передаче сигналов эталонных частот и единого времени, а также в геофизических исследованиях электрических свойств Земли, земной ионосферы и магнитосферы Земли. Поэтому задача построения высокоэффективных СДВ устройств обладающих высокими энергетическими показателями является актуальной. Ил. 7. Библиогр. 8 назв.

УДК 004.098 Ключевые слова: тепловая модель, метод конечных элементов, анализ теплообмена

И.В. Оронин, Б.Ю. Семенов, Р.Н. Кодран. Анализ корреляции данных виртуального моделирования теплонагруженных элементов статических преобразователей с эмпирическими данными//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 99

Рассмотрены целесообразность и перспективность использования средств автоматизированного проектирования (САПР) в области моделирования и анализа тепловых режимов работы теплонагруженных приборов, в частности, статических преобразователей систем компенсации магнитных полей корабельных корпусных конструкций. Проанализирована с практической точки зрения методология проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) известными графо-аналитическими, а также современными средствами САПР. Сравниваются данные натурных испытаний РЭА с виртуальными данными, полученными средствами САПР. Т. 2. Ил. 14. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.021.328 Ключевые слова: плавучий док, эксплуатация, срок, жизненный цикл, анализ

А.Г. Смирнов. Анализ сроков эксплуатации плавучих доков//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 105

Проанализированы численность и состояние парка плавучих доков в РФ на состояние 2019 г. Охарактеризовано их состояние, обозначены потребности предприятий в них. Т. 1. Ил. 6. Библиогр. 10 назв.

УДК 656.61.087 Ключевые слова: подводный аппарат, характеристики, навигация, открытый источник

Н.А. Нестеров, Р.А. Андреев. Анализ типовых характеристик средств навигации подводных аппаратов. По материалам отечественной и зарубежной печати//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 109

Дан краткий обзор средств навигации для подводных аппаратов по открытым материалам отечественной и зарубежной печати. Отмечается отставание отечественных производителей этих средств от иностранных. Т. 1. Ил. 6. Библиогр. 10 назв.

УДК 658.61:629 Ключевые слова: затонувший объект, подъем, организация, нормативно-правовой аспект, задачи

В.Н. Илюхин. Актуальные нормативно-правовые и организационно-технические аспекты подъема затонувших объектов. Часть 1//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 114

Подробно анализируется значение подъема затонувших объектов для решения транспортных и экологических проблем. Особое внимание уделено нормативно-правовым и организационным аспектам, возникающим при этом. Ил. 7

УДК 531.5 Ключевые слова: низкие температуры, сверхпроводимость, высокотемпературная сверхпроводимость, гироскопы, акселерометры, магнитометры, градиентометры, навигация, антенны

П.И. Малеев. Новые способы создания средств навигации на основе сверхпроводников//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 119

Учитывая уникальные особенности сверхпроводников, используемые при создании прецизионных приборов и устройств, и успехи последних лет в поиске сверхпроводников, переходящих в сверхпроводящее состояние при температурах, близких к комнатным (ВТСП), представляется своевременным проведение исследований возможных путей их использования для создания средств навигации. Рассмотрены разработанные нами на их основе десять новых способов создания средств навигации, закрепленные авторскими свидетельствами на изобретения и патенты. Ил. 6. Библиогр. 20 назв.

УДК 629.5 Ключевые слова: американское судостроительное производство, российские специалисты, опыт

Б.А. Барбанель, С.В. Феулов, Д.А. Косаренко. Российские производственники на американском судостроительном предприятии (конец XIX – начало XX вв.)//Морской вестник. 2020. № 3 (75). С. 127

О присутствии русских наблюдающих за постройкой эскадренного броненосца «Ретвизан» и крейсера «Варяг» в США на верфи «Вильям Крамп и Ко». Об опыте, которые они приобрели в ходе работы на зарубежной верфи. Ил. 4. Библиогр. 13 назв.

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 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 2//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 10

Continuation of the analysis of construction plans by foreign states of the UDC. Their features are characterized. Particular attention is paid to the prospects for the development of these ships in the Navy. For the beginning, see Morskoy Vestnik, 2020, №2(74). T.2. Fig.24.

UDC 658.003.13: 339 **Keywords:** river passenger ship, river cruise, analysis, design, innovation

A.G. Egorov. Development of European river cruise fleet and market//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P.21

Study of European river cruise market has been carried out, fleet of river cruise passenger ships built in the last years was analyzed, features of this fleet, as well as cruises were highlighted. T.1. Fig.18. Bibliography 34 titles.

UDC 629.12.073.243.4 **Keywords:** nonlinear forces of the second order, method of integral equations, oblique heading angles, method of a small parameter, Green's function

V.Yu. Semyonova, D.A. Al'baev. Determination of nonlinear forces of the second order arising during the lateral rolling of ships at oblique heading angles, based on the three-dimensional potential theory//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 29

A method for calculating nonlinear forces of the second order arising during the lateral rolling of a vessel at oblique heading angles is considered on the basis of a three-dimensional potential theory. To solve the problem, the method of integral equations and the method of a small parameter are used. The results of calculations of nonlinear forces arising during vertical, lateral-horizontal and rolling for various types of ships and different heading angles are presented. The results obtained are analyzed. T.1. Fig.8. Bibliography 8 titles.

UDC 681.3 **Keywords:** ship, evolutionary dynamics, interpretation, non-stationary environment, computation

Yu.I. Nechaev. Models of interpretation of the evolutionary dynamics of a ship in a non-stationary environment of emergency calculations//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 34

The theoretical principles of constructing conceptual solutions for the interpretation of non-stationary ship dynamics in the functional spaces of the modern theory of catastrophes (STK) are considered. The developed strategic decisions determine the construction of interaction models based on test data of self-propelled radio-controlled models – in conditions of resonant rolling, complete loss of stability and in the «broching» mode. Practical applications of the developed computing technology are focused on the use of large amounts of Big Data in artificial intelligence systems of new generations, operating on the basis of dynamic measurement data in the emergency computing mode (Urgent Computing – UC). Interpretation of non-stationary ship dynamics models is displayed in the virtual environment of modern computer mathematics using dynamic STC models. Fig.5. Bibliography 12 titles.

UDC 629.12: 532.0419.075.8 **Keywords:** vessel, dynamic unsinkability, side, pitching, static stability diagram, roll angle, capsizing

O.V. Tretyakov, P.A. Schaub, S.V. Moskovkina. Fundamentals of dynamic unsinkability of a ship//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 37

Dedicated to the study of the parameters of the rolling of a damaged ship or vessel in difficult storm conditions. A system of differential equations for pitching has been derived, taking into account the nonlinearity of the static stability diagram, the presence of flooded compartments of all categories (1, 2, 3), pitching, nonlinearity, heel angle using harmonic linearization methods for any stability diagram that is recommended when assessing the overturning of a vessel. Bibliography 11 titles.

UDC 629.124 **Keywords:** Ice capacity, ice navigation vessel, ice mass, ice cover, broken ice, model experiment, bow tip, three-axis ellipsoid, similarity conditions, Froude number, experimental pool

E.M. Gramuzov, B. P. Ionov, M.Yu. Sandakov, N.E. Tikhonova. Influence of the geometry of the bow tip of an ice-sailing vessel on the seaworthiness in broken ice//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 40

The geometry of the bow end of an ice-sailing vessel determines its ice-carrying capacity. The paper considers the movement of a transport vessel of ice navigation in shallow ice with a cohesion of 10 points. The paper investigates the influence of the shape of the bow tip on ice resistance. A model experiment was used to study the effect of the outline geometry on ice travel. Fig.7. Bibliography 9 titles.

UDC 629.052: 004.046: 658.511.3: 658.512.3

Keywords: digital interaction, information exchange, design and development work, submarines of small displacement, integration of automated complexes, unification, technical task, central post, R&D, research and development, unified approach to design and the creation of automated systems

I.I. Zaitsev, D.V. Shamanovsky, E.V. Buter, M.A. Akhrestin. The role of information interaction between enterprises in the creation of complexes of automated control systems on the example of small displacement submarines//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 42

Topical issues of digital interaction of enterprises participating in the creation of automated control systems for submarines of small displacement, the integration of automated complexes and systems, the specifics of the design and engineering, technological, electrical installation work are considered. The optimal scheme of interaction when creating complexes of automated control systems for submarines is proposed on the example of submarines of small displacement. T.1. Fig.2. Bibliography 4 titles.

UDC 593.3 **Keywords:** porthole, crimp washer, parameters, glass element, high pressure

N.M. Vikhrov, V.P. Lyanzberg. Features of the choice of parameters of the crimp washer of high-pressure windows with a glass element in the form of a shell//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 47

On the method of choosing the parameters of the crimp washer of a high-pressure illuminator with a glass

element in the form of a shell. Continuation of the study. Fig.1. Bibliography 4 titles.

UDC 629.5: 621.039 **Keywords:** shipbuilding, integration processes, cooperation in the construction of ships

A.A. Aleksashin, V.V. Dudarenko, L.M. Klyachko. Structural transformations in shipbuilding: foreign experience//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 48

The modern foreign experience in the development of shipbuilding is analyzed. The main trends are revealed: the development of horizontal and vertical integration, joint design and construction of ships, the creation of ship technology, participation of the state in the integration processes. It is considered how these trends are realized in the Russian shipbuilding. Fig.3. Bibliography 16 titles.

UDC 330.1 **Keywords:** money, capitalism, genesis, transformation

A.V. Ivankovich. Genesis of modern monetary civilization//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 53

The stages of formation and development of modern monetary civilization, as well as the features of each of them, are considered. The analysis of the transformation of the classical functions of money and the stage of self-reproduction of money is given.

UDC 629.5.001.18 **Keywords:** Admiralty shipyards, construction, modernization, large blocks, cooperation

K.O. Budnikov. Development of capacities of JSC Admiralty shipyards for the manufacture of large blocks//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 55

The possibility of modernization of JSC Admiralty Shipyards for the transition to the construction of large saturated blocks, taking into account the possibility of cooperation with other enterprises, is analyzed, which provides for the creation of a modern assembly site for surface commercial shipbuilding, the construction of which can be carried out without stopping the enterprise and at significantly lower costs than creating new ones. indoor complexes or dry dock. T.2. Fig.4. Bibliography 8 titles.

UDC 621:355 **Keywords:** Design Office Vypmel, pandemic, Internet, organization of remote work

D.A. Bakhansky. The work of JSC DO Vypmel in the conditions of high alert//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 59

It is shown in detail how the design bureau managed in a short time to rebuild the process of work of designers at a distance, thanks to Internet technology. Fig. 3.

UDC 65.015.22 **Keywords:** CAD-system, PDM-system, automation of technological preparation of production

D.A. Vedernikov. Experience of using integrated CAD and PDM systems in the framework of technological preparation of production//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 63

The methodology, risks and the result of the transfer of processes of technological preparation of production from systems of two-dimensional design of technological operations to three-dimensional using integrated CAD and PDM systems are considered. Fig.1. Bibliography 2 titles.

UDC 621.82 **Keywords:** product, qualification, complex, crane, manipulator, design, development, distributor, control system, creation, specialists

M.A. Alexandrov, Yu.L. Borodin, A.V. Nikitin, D.A. Skorkhodov. Central Research Institute of Marine Engineering – 50 years in the service of the Fatherland. Scientific and technical development of mechanisms, devices and complexes of ship mechanical engineering for Russian shipbuilding and the navy//Morskoy Vestnik. 2020. №3 (75). P. 65

A brief history of the creative activity of the collective is presented JSC CRIME – performing research and development work (R&D), development and creation of mechanisms, devices and complexes of special equipment for ship mechanical engineering since the establishment of the institute to the present. Considered the modern possibilities of research and design of products of shipbuilding engineering of JSC CRIME. The characteristic features of their development are determined, the peculiarities of staff development and the training of specialists are noted, as well as problematic issues in the creation of competitive products for ship engineering. Fig.3. Bibliography 12 titles.

UDC 004.04 **Keywords:** modeling, optimization, engines, Kullback-Leibler divergence

V.V. Novikov, K.N. Osipov. On the question of minimizing the components of the vector of diagnostic parameters of piston internal combustion engines//Morskoy Vestnik. 2020. № 3 (75). P. 70

A method is substantiated for minimizing the set of diagnostic parameters of piston internal combustion engines, which is necessary for recognizing dangerous technical conditions during functional diagnostics. The proposed method is based on the use of S. Kullback's information criterion as an average measure of discriminating information contained in measurement sequences. T.1. Fig.1. Bibliography 12 titles.

UDC 678.026 **Keywords:** thermoplastic composite, 3D printing, calculation and assessment of strength by the finite element method

I.V. Pleschenkov. Study of additive technologies for the manufacture of thin-walled parts of thermoplastic composite materials for products of ship engineering//Morskoy Vestnik. 2020. № 3 (75). P. 75

This article highlights the mechanism for assessing the applicability of 3D printing in terms of operational and design features of a specific product and a specific part for a product already mastered in production using digital technologies implemented by CAE systems. Fig.2.

UDC 621.316.722.016.3 **Keywords:** electric energy, passive and active filters, electric power system

B.F. Dmitriev, S.Ya. Galushin, A.N. Kalmykov, Aung Thu Phio, A.D. Egorova. Means of improving the quality of electrical energy in ship electric power systems//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 77

Means of improving the quality of electrical energy in ship power systems based on various types of structures are considered. Passive filters are used to limit the effects of unwanted voltage or current harmonics in the network. The article provides the rationale for the choice of the structure of the inactive power compensator. Fig.5. Bibliography 3 titles.

UDC 621.51 **Keywords:** compressor, design, products, demand

JSC Compressor – it means made in Russia//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P.83

About one of the most significant and well-known in the Russian Federation and abroad research and production association. Particular attention is paid to the products that it designs and manufactures under the guidance of General Designer L.G. Kuznetsov. Fig.4.

UDC 621.352.6 **Keywords:** hydrogen air polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFC), unmanned aerial vehicle (UAV), power plant, management system

A.G. Yureskul, E.A. Anisimov, Yu.I. Ivanov, N.A. Faddeev, N.V. Smirnova. Power supply system based on fuel cells for unmanned aerial vehicle//Morskoy Vestnik. 2020. №3 (75). P. 87

The prospects and features of power supply systems for unmanned aerial vehicles (UAV) based on hydrogen-air polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFC) in relation to civil and military naval complexes are considered. The block diagram of the management system of the power plant based on PEMFC is presented. Fig.3. Bibliography 8 titles.

UDC 629.78.064.5 **Keywords:** autonomous unmanned underwater vehicle (AUV), storage battery (AB), fuel cell (FC), electrochemical generator (ECH), hydrogen-oxygen battery, battery discharge value, reagent reserves, ship carrier

L.G. Bakumenko, A.N. Dyadik, M.V. Larionov, S.N. Surin. An integrated approach to power supply of autonomous unmanned underwater vehicles//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 91

An innovative development of the technology for creating a power plant for small class AUVs is considered. Most of such devices in our countries and in other countries are equipped with AB. But even modern lithium-nickel-manganese-cobalt batteries do not allow the AUV to be submerged for a long time. For this reason, NPO Avrora Concern JSC is developing an AUV power plant with a significant increase in energy intensity by replacing the LIAB with an ECH of the hydrogen-oxygen type. At the same time, the autonomous operation time of the AUV increases by 3–4 times, depending on the load. To accommodate the necessary stock of reagents on board the AUV, cylinders made of composite materials are used. The reagent storage system, including pipelines with fittings, is a hydrogen-oxygen accumulator. In the future, the necessary reagents for the operation of the ECH can be obtained on board the carrier vessel in the process of water electrolysis. T.1. Fig.5. Bibliography 5 titles.

UDC 621.396.61.001.2 **Keywords:** modes of class D and E, power losses, efficiency, energy efficiency

E.A. Rylov. Spheres of use and principles of construction of VLF radio stations//Morskoy Vestnik. 2020. №3 (75). P. 96

The construction of key VLF radio stations operating in modes D and E. The use of VLF range solves a significant number of practical problems. VLF are widely used in radio communication systems, radio navigation, transmission of signals of reference frequencies and uniform time, as well as in geophysical studies of the electrical properties of the Earth, the Earth's ionosphere and the Earth's magnetosphere. Therefore, the task of building highly efficient VLF devices with high energy performance is urgent. Fig.7. Bibliography 8 titles.

UDC 004.098 **Keywords:** thermal model, finite element method, heat transfer analysis

I.V. Onorin, B.Yu. Semenov, R.N. Codryan. Analysis of

the correlation of virtual modeling data of heat-loaded elements of static converters with empirical data//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 99

The expediency and prospects of using computer-aided design (CAD) tools in the field of modeling and analysis of thermal modes of operation of heat-loaded devices, in particular, static converters of systems for compensating magnetic fields of ship hull structures, are considered. Analyzed from a practical point of view, the methodology of thermal design of electronic equipment (REA) by well-known graph-analytical, as well as modern CAD tools. The data of field tests of electronic equipment are compared with virtual data obtained by means of CAD. T.2. Fig.14. Bibliography 3 titles.

UDC 629.021.328 **Keywords:** floating dock, operation, term, life cycle, analysis

A.G. Smirnov. Analysis of the operating life of floating docks//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 105

The number and state of the fleet of floating docks in the Russian Federation for the state of 2019 are analyzed. Their state is characterized, the needs of enterprises in them are indicated. T.1. Fig.6. Bibliography 10 titles.

UDC 656.61.087 **Keywords:** underwater vehicle, characteristics, navigation, open source

N.A. Nesterov, R.A. Andreyuk. Analysis of typical characteristics of navigation aids for underwater vehicles. Based on materials from domestic and foreign press//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 109

A brief overview of navigation aids for underwater vehicles is given based on open materials of domestic and foreign press. The lag of domestic producers of these funds from foreign ones is noted. T.1. Fig.6. Bibliography 10 titles.

UDC 658.61:629 **Keywords:** sunken object, rise, organization, regulatory aspect, tasks

V.N. Ilyukhin. Relevant regulatory, organizational and technical aspects of the lifting of sunken objects. Part 1//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P.114

The importance of lifting sunken objects for solving transport and environmental problems is analyzed in detail. Particular attention is paid to the regulatory and organizational aspects that arise in this case. Fig.7.

UDC 531.5 **Keywords:** low temperatures, superconductivity, high-temperature superconductivity, gyroscopes, accelerometers, magnetometers, gradiometers, navigation, antennas

P.I. Maleev. New ways of creating navigation aids based on superconductors//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 119

Taking into account the unique features of superconductors used in the creation of precision instruments and devices, and the recent successes in the search for superconductors that go into a superconducting state at temperatures close to room temperature, it seems timely to investigate possible ways of using them to create navigation aids. Considered are ten new ways of creating navigation aids developed by us on their basis, secured by copyright certificates for inventions and patents. Fig.6. Bibliography 20 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** American shipbuilding production, Russian specialists, experience

B.A. Barbanel, S.V. Fedulov, D.A. Kosarenko. Russian manufacturers at an American shipbuilding enterprise (late XIX – early XX centuries)//Morskoy Vestnik. 2020. №3(75). P. 127

On the presence of Russians observing the construction of the battleship Retvizan and the cruiser Varyag in the USA at the William Crump & Co shipyard. About the experience they gained while working at a foreign shipyard. Fig.4. Bibliography 13 titles.