

Морской Вестник

№3(79)
сентябрь
2021
ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik

Доверяй опыту!



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

«Концерн «Гранит-Электрон»

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР

100
1921-2021



АО
Корпорация
Тактическое
Ракетное

Морской Вестник



№ 3 (79)
сентябрь
2021

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редационный совет

Председатель

А.Л. Рахманов, генеральный директор

АО «Объединенная судостроительная корпорация»

Сопредседатели:

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

президент Ассоциации судостроителей СПб и ЛО

В.С. Никитин, президент Международного

и Российского НТО судостроителей

им. акад. А.Н. Крылова

Г.А. 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»

А.А. Дьячков, генеральный директор

АО «Северное ПКБ»

М.В. Захаров, генеральный директор

ООО «Пумори-северо-запад»

И.А. Карпенюк, генеральный директор

ООО «Морское Инженерное Бюро-СПб»

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

А.А. Копанев, генеральный директор

АО «НПФ «Меридиан»

Г.А. Коржавин, научный руководитель

АО «Концерн «Гранит-Электрон»

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

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор

АО «Компрессор»

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

А.Г. Родионов, генеральный директор

АО «Ситроникс КТ»

С.В. Савков, генеральный директор

АО «Новая ЭРА»

В.А. Середохо, генеральный директор

АО «СНСЗ»

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

А.С. Соловьев, генеральный директор

ПАО «Выборгский судостроительный завод»

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

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

А.Л. Ульянов, генеральный директор

ООО «Нева-Интернэшнл»

С.Г. Филимонов, генеральный директор

АО «Концерн Морфлот»

Г.Р. Цатуров, генеральный директор

ОАО «Пелла»

В.В. Шаталов, генеральный директор

АО КБ «Вымпел»

К.Ю. Шильов, 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

<i>На Средне-Невском судостроительном заводе заложено пассажирское судно «Виктор Астафьев»</i>	7
<i>Ю. Н. Кормилицын, Ю. И. Нечаев. Интеллектуальная поддержка проектирования подводных лодок новых поколений: концепция современного хранилища данных</i>	9
<i>А. В. Февральских. Проектирование аэродинамической компоновки скоростного амфибийного судна с использованием технологий цифрового двойника</i>	14
<i>В. К. Дьяченко, Д. Е. Цымляков. Задача о выходе судна на воздушной подушке на берег с преодолением уклона</i>	20
<i>А. Л. Мелконян, Д. А. Николаев. Алгоритм расчета совместной вибрации судового корпуса и его конструктивных модулей с малым районом сопряжения</i>	24
<i>Памяти Г. В. Егорова</i>	27

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

<i>Р. А. Сахаров. Технологии плазменной очистки поверхности металлических конструкций для судового машиностроения</i>	31
<i>К. О. Будников. Вариант технологии размерного контроля при формировании корпусных конструкций судов с обеспечением единства геометрических измерений</i>	37
<i>М. В. Александров, А. В. Вебер, В. А. Барсуков, Ю. М. Зубарев, В. И. Черненко. Динамика технологической системы и ее влияние на качество продукции судостроения</i>	40

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

<i>А. В. Шляхтенко, И. Г. Захаров, В. В. Барановский. Тенденции эволюционного развития схемного исполнения энергетических установок многоцелевых надводных кораблей</i>	43
<i>Л. Г. Кузнецов, А. В. Бураков, Н. А. Котлов, А. А. Семенов. Роторные компрессорные станции для кораблей ВМФ, гражданского флота, нефтегазового сектора и энергетики</i>	55
<i>Н. М. Вихров, В. П. Лянзберг. О разработке сферического иллюминатора с учетом деформации обшивки</i>	61
<i>А. А. Борискин, В. И. Караваев. Гидравлическая силовая установка торпедных аппаратов с газогенераторами для подводных лодок малого водоизмещения</i>	62
<i>И. В. Николаев. Разработка судового фундамента с повышенными виброизолирующими свойствами для условий повышенных температур и агрессивных воздействий</i>	66
<i>Г. А. Кушнер, В. А. Мамонтов, В. В. Шахов. Исследование влияния уклона валопровода судна на параметры поперечных колебаний</i>	69



<i>П. А. Зеленев, М. Н. Боровков, И. Б. Коробов. Погружные насосы сжиженных газов на судах транспортного флота</i>	72
<i>С. Л. Анчиков, А. Р. Тогоуляц, Л. И. Вишневский. Средства улучшения эксплуатационных характеристик двухступенчатых лопастных движителей</i>	76
<i>Ю. А. Степанов. Система защиты от обрастания трубопроводов забортной воды судна</i>	81
<i>М. А. Ермолаев. Аддитивные технологии в судостроении</i>	85
<i>А. А. Кейбал. «Винета»: 25 лет верным курсом</i>	86

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

<i>С. Н. Шаров. Развитие методов проектирования систем автоматического управления в разработках АО «Концерн «Гранит-Электрон»</i>	90
<i>М. И. Базанов, Ю. В. Шанин. Разработка конвертера сигналов NMEA 0183 в импульсный код</i>	99
<i>В. М. Амбросовский, Д. В. Казунин, С. В. Смоленцев. Дистанционное управление безыкипажными судами</i>	105
<i>Ю. А. Ямщиков. Проектирование архитектуры экспертной системы отображения радиолокационной информации</i>	109
<i>Е. И. Глушанков, Е. А. Рылов, Д. А. Цветков. Анализ электромагнитной совместимости в системах морской радиосвязи с многоэлементными антеннами</i>	114
<i>А. И. Бохоносский, Т. В. Мозолевская. Оптимальное перемещение упругого объекта по окружности</i>	116
<i>С. Н. Смелков, А. Н. Зайцев. Декомпозиция процессов принятия решения ИСБУ с архитектурой, основанной на принципе свободно агрегируемых программных модулей</i>	119

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

<i>В. Н. Половинкин, С. В. Федулов, Д. А. Косаренко. Трагедия линейных крейсеров Российской империи</i>	121
---	-----

В АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

<i>Итоги совместного собрания Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Секции по судостроению Морского Совета при Правительстве Санкт-Петербурга</i>	125
--	-----

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

<i>Памяти Н. В. Орлова</i>	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 эконо. наук

В. Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф.

Б. П. Ионов, д-р техн. наук, проф.

Д. В. Казунин, д-р техн. наук

Р. Н. Караев, канд. техн. наук

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

А. И. Короткин, д-р техн. наук, проф.

П. А. Кротов, д-р истор. наук, проф.

П. И. Малеев, д-р техн. наук

Ю. И. Нечаев, д-р техн. наук, проф.

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

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

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

А. А. Родионов, д-р техн. наук, проф.

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

В. И. Черненко, д-р техн. наук, проф.

Н. П. Шаманов, д-р техн. наук, проф.

Редакция

Тел./факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Редактор

Т. И. Ильичёва

Дизайн, верстка

С. А. Кириллов, В. Л. Колпакова

Адрес редакции

190000, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12047 от 11 марта 2002 г.

Учредитель-издатель

ООО Издательство «Мор Вест»,

190000, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Электронная версия журнала

размещена на сайте ООО «Научная электронная

библиотека» www.elibrary.ru и включена

в Российский индекс научного цитирования

Решением Президиума ВАК журнал «Морской вестник»

включен в перечень ведущих научных журналов и

изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть

опубликованы основные научные результаты диссертаций

на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

Подписка на журнал «Морской вестник»

(индекс ПМ 467) может быть оформлена по

каталогу Почты России «Подписные издания», по

каталогам ООО «Урал-Пресс», ООО «Прессинформ»

или непосредственно в редакции журнала через

издательство «Мор Вест»

Отпечатано в ООО «Типография «Премиум-пресс»

Адрес типографии: 190020, Санкт-Петербург,

Нарвский пр., д.18 лит. А

Тираж 500 экз. Заказ № 1170

Дата выхода в свет – 07.06.2021

Каталожная цена – 675,42 руб.

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

Морской Вестник



№ 3 (79)
september
2021

Morskoy Vestnik

SCIENTIFIC, ENGINEERING, INFORMATION AND ANALYTIC MAGAZINE

Editorial Council

Chairman

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

Co-chairman:

M.V. Alexandrov, General Director JSC SSTC,
President of the Association

of Shipbuilders of St. Petersburg and Leningrad Region

V.S. Nikitin,

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

G.A. Turichin, Rector SPbSMTU

Council Members:

M.A. Alexandrov, Director JSC CRIME

A.S. Buzakov, General Director
JSC Admiralty Shipyards

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

V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMDB Malachite

S.G. Filimonov, General Director
JSC Concern Morflot

I.A. Karpenok, General Director
JSC Marine Engineering Bureau SpB

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, General Director JSC 51 CDTISR

A.G. Rodionov, General Director
JSC Sitronics KT

S.V. Savkov, General Director JSC NE

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

V.A. Seredokho, General Director JSC SNSZ

V.V. Shatalov, General Director
JSC DO Vympel

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

A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC Almaz CMDB

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

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

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

G.R. Tsaturov, General Director OJSC Pella

A.L. Ulyanov, General Director
LLC Neva International

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

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

CONTENTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

The passenger ship «Victor Astaf'ev» was laid down at the Sredne-Nevisky shipyard.....7

Yu.N. Kormilitsyn, Yu.I. Nechaev. Intelligent support for the design
of new generations of submarines: the concept of a modern data warehouse9

A.V. Fevral'skikh. Designing the aerodynamic layout
of a high-speed amphibious vessel using digital twin technologies 14

V.K. D'yachenko, D.E. Tsymlyakov. The problem of leaving
a hovercraft ashore with overcoming a slope 20

A.L. Melkonyan, D.A. Nikolaev. Algorithm for calculating the joint vibration of a
ship's hull and its structural modules with a small interface area 24

In memory of G.V. Egorov 27

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

R.A. Sakharov. Technologies for plasma cleaning
of the surface of metal structures for ship engineering 31

K.O. Budnikov. Variant of technology of dimensional control
in the formation of hull structures of ships with ensuring the uniformity
of geometric measurements 37

**M.V. Alexandrov, A.V. Veber, V.A. Barsukov, Yu.M. Zubarev,
V.I. Chernenko.** Dynamics of the technological system
and its impact on the quality of shipbuilding products 40

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

A.V. Shlyakhtenko, I.G. Zakharov, V.V. Baranovsky.
Trends in the evolutionary development of the schematic design
of power plants of multipurpose surface ships 43

L.G. Kuznetsov, A.V. Burakov, N.A. Kotlov, A.A. Semyonov.
Rotary compressor stations for ships of the Navy, civil fleet,
oil and gas sector and energy 55

N.M. Vikhrov, V.P. Lyanzberg. On the development of a spherical window
taking into account the deformation of the holder 61

A.A. Boriskin, V.I. Karavaev. Hydraulic power plant of torpedo tubes
with gas generators for submarines of small displacement 62

I.V. Nikolaev. Development of a ship foundation
with increased vibration-insulating properties for conditions
of high temperatures and aggressive influences 66

G.A. Kushner, V.A. Mamontov, V.V. Shakhov. Investigation of the influence
of the ship's shafting slope on the parameters of lateral vibrations 69

P.A. Zelenov, M.N. Borozkov, I.B. Korobov.
Submersible pumps for liquefied gases on ships of the transport fleet 72



S.L. Anchikov, A.R. Togunjac, L.I. Vishnevsky. <i>Means of performance improvement of two-stage blade propulsors</i>	76
Yu.A. Stepanov. <i>Antifouling system for outboard water pipelines</i>	81
M.A. Ermolaev. <i>Additive technologies in shipbuilding</i>	85
A.A. Keibal. <i>«Vineta»: 25 years on the right course</i>	86

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

S.N. Sharov. <i>Development of design methods for automatic control systems in the development of JSC Concern Granit-Electron</i>	90
M.I. Bazanov, Yu. V. Shanin. <i>Development of a converter of NMEA 0183 signals into a pulse code</i>	99
V.M. Ambrosovskiy, D.V. Kazunin, S.V. Smolentsev. <i>Remote control of unmanned vessels</i>	105
Yu.A. Yamshchikov. <i>Design of the architecture of the expert system for displaying radar information</i>	109
E.I. Glushankov, E.A. Ryllov, D.A. Tsvetkov. <i>Analysis of electromagnetic compatibility in marine radio communication systems with multi-element antennas</i>	114
A.I. Bokhonsky, T.V. Mozolevskaya. <i>Optimal movement of an elastic object around a circle</i>	116
S.N. Smelkov, A.N. Zaitsev. <i>Decomposition of decision-making processes ISBU with architecture based on the principle of freely aggregated program modules</i>	119

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

V.N. Polovinkin, S.V. Fedulov, D.A. Kosarenko. <i>The tragedy of the battle cruisers of the Russian Empire</i>	121
---	-----

IN THE ASSOCIATION OF THE SHIPBUILDERS

<i>Results of the Joint Meeting of the Association of Shipbuilders of Saint-Petersburg and the Leningrad Region and the Shipbuilding Section of the Maritime Council under the Government of Saint-Petersburg</i>	125
---	-----

IN THE MARITIME ASSEMBLY

<i>In memory of N.V. Orlov</i>	127
--------------------------------------	-----

Editor-in-Chief

E.A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D.S. Glukhov

Phone/Fax: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 3124565

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Editorial Collegium

G.N. Antonov, D. Sc.

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

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

E.A. Gorin, D. Sc.

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

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

D.V. Kazunin, D. Sc.

R.N. Karaev, Ph. D.

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

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

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

P.I. Maleev, D. Sc.

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

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

of Rocket and Artillery of Sciences of Russia

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

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

of the Academy of Sciences of Russia

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

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

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

Editorial staff

Phone/Fax +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Editor

T.I. Ilyichiova

Design, imposition

S.A. Kirillov, V.L. Kolpakova

Editorial office

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

190000, St. Petersburg

The magazine is registered by RF Ministry of Press,

TV and Radio Broadcasting and Means of Mass

Communications, Registration Certificate

ПИ № 77-12047 of 11 march 2002

Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

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

190000, St. Petersburg

The magazine electronic version

is placed on the site LLC «Nauchnaya elektronaya

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

Russian index of scientific citing

By the decision of the Council of VAK the Morskoy

Vestnik magazine is entered on the list of the leading

scientific magazines and editions published in the

Russian Federation where basic scientific outcomes of

doctoral dissertations shall be published.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

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

using Russian Post Catalog «Subscription editions»

(subscription index ПМ 467), JSC «Ural-Press», LLC

«Pressinform» or directly at the editor's office via the

Morvest Publishing House

Printed by Premium Press Printing House LLC

Printing house address 190020 St. Petersburg

Narvsky prospect, 18, letter A

Circulation 500. Order № 1170

Publication date – 07.06.2021

Catalog price – 675,42 rubles

Authors and advertisers are responsible for contents of

information and advertisement materials as well as for use of

information not liable to publication in open press.

Reprinting is allowed only with permission of the editorial staff

30 июля 2021 г. на Средне-Невском судостроительном заводе (входит в состав Объединенной судостроительной корпорации) состоялась торжественная церемония закладки пассажирского судна «Виктор Астафьев» пр. А45-90.2.

Церемония закладки этого судна прошла при участии губернатора Красноярского края Александра Усса, который наблюдал за мероприятием в режиме видеоконференц-связи, министра транспорта Красноярского края Константина Димитрова, генерального директора АО «СНСЗ» Владимира Середохо, депутата Государственной Думы РФ Михаила Романова, исполняющего обязанности председателя Комитета по делам Арктики Администрации Санкт-Петербурга Елены Асеевой, заместителя председателя Комитета по промышленной политике, инновациям и торговле Администрации Санкт-Петербурга Дмитрия Прожерина.

Верфь ведет строительство пассажирских судов «Андрей Дубенский» (головное судно) и «Виктор Астафьев» в рамках контракта с государственной транспортной лизинговой компанией, с использованием мер господдержки. Сумма контракта составляет более 5 млрд. рублей. СНСЗ должен впервые в стране построить два судна класса «река-море» для работы в Арктической зоне Российской Федерации, на социально значимом маршруте

НА СРЕДНЕ-НЕВСКОМ СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ЗАВОДЕ ЗАЛОЖЕНО ПАССАЖИРСКОЕ СУДНО «ВИКТОР АСТАФЬЕВ»

*Средне-Невский судостроительный завод,
контакт. тел. (812) 648 3086*

Красноярского края: Красноярск – Дудинка – Красноярск на реке Енисей, где перевозка людей на большие расстояния по водным артериям является практически безальтернативной.

Характеристики пассажирского судна пр. А45-90.2

Длина габаритная, м	99
Ширина габаритная, м	14,6
Высота борта, м	4,2
Осадка габаритная, м	не более 2,0
Главные двигатели, кВт.	3×480
Расход топлива на круговой рейс, т	40
Материал корпуса	сталь
Материал надстройки.	АМг
Скорость максимальная, уз	12
Мореходность, высота волны, м	до 2,0
Экипаж, чел.	41
Автономность сут.	15

«Виктор Астафьев» – однокорпусное судно с четырьмя пассажирскими палубами, прогулочной палубой, рулевой рубкой, расположенной в носовой части судна, на второй палубе, с кормовым расположением машинно-



Закладная доска пассажирского судна «Виктор Астафьев»

го отделения, трехвальной дизельной энергетической установкой.

Судно пр. А45-90.2 предназначено для перевозки 245 пассажиров в комфортабельных каютах на маршруте протяженностью до 5000 км. Особое внимание при проектировании было уделено безопасности, экономической эффективности, уровню комфорта, отвечающему современным мировым стандартам, а также высокой экологичности.

На борту судна имеются ресторан, бары, фитнес-комплекс с двумя саунами, деловой офис, медицинская каюта, камеры хранения, пассажирский лифт. Для размещения пассажиров на палубах судна предусмотрены: 47 четырехместных кают, 16 трансформируемых двух- и четырехместных кают, 7 кают класса «люкс», а также 1 двухместная каюта для лиц с ограниченными возможностями.

Доставка пассажиров с борта теплохода на берег и обратно может быть осуществлена в условиях необорудованного берега. Для этого проектом предусмотрено размещение маломерного судна, которое может также использоваться в качестве разъездного средства.

По условиям контракта судно «Виктор Астафьев» должно быть передано заказчику в 2024 г.

Строительство пассажирских судов пр. А45-90.2 – крупнейший гражданский заказ в истории СНСЗ, благодаря которому не только открыто новое направление в производственной деятельности предприятия, но и сделан большой шаг к масштабному обновлению парка отечественных гражданских судов, которые способны успешно выполнять поставленные перед ними задачи в большинстве регионов страны. ■



На торжественной церемонии закладки выступает генеральный директор АО «Средне-Невский судостроительный завод» В.А. Середохо

В статье рассмотрим подход к созданию интегрированного программного комплекса интеллектуальной поддержки (ИП) проектирования подводных лодок (ПЛ) новых поколений на базе современного хранилища данных (ХД) [1–11]. Концептуальные решения по созданию ХД реализованы в виртуальной среде гибридного моделирования (ГМ) [5] с использованием данных физического эксперимента и Грид-технологий [6] интеграции знаний при взаимодействии с организациями-соисполнителями. Неопределенность и неполнота исходной информации, используемой на ранних стадиях проектирования, предопределили подход к обработке информации на основе концепции мягких вычислений (Soft Computing) [11] и выявления «скрытых» знаний (Data Mining) [1]. Алгоритмы интерпретации информации и процедуры ИП при выборе решений реализованы в среде экстренных вычислений [10] – эволюционной стратегии анализа альтернатив в пространствах поведения и управления современной теорией катастроф (СТК) [4].

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ БАЗИС СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ

В основе создания современного ХД нового положения концепция Problem Solving Environment (PSE) [10], которая базируется на теоретических принципах, определяющих архитектуру ХД и уровни его управления (рис. 1). Наряду с традиционными математическими методами проектирования ПЛ в рамках

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ: КОНЦЕПЦИЯ СОВРЕМЕННОГО ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ

*Ю.Н. Кормилицин, д-р техн. наук, проф., засл. инженер России,
Ю.И. Нечаев, д-р техн. наук, проф. СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (921) 965 9358*

PSE широко применяются достижения искусственного интеллекта (ИИ) [3], определяющие принципы функционирования систем, основанных на знаниях. Среди них важная роль принадлежит принципу открытости, позволяющему обеспечить наиболее сложные уровни иерархической структуры ХД – самоорганизацию и самообучение. В результате открываются возможности интерпретации сложных процессов ИП при анализе альтернатив и принятии проектных решений, а также при моделировании действий системы ИП в процессе решения задачи и «обучении» на своем опыте.

Концепция PSE позволяет построить формальную модель инвариантного ядра системы ИП как программной системы, включающей в себя предметную область, базу знаний и базу данных. В функциональном аспекте эта модель определяет программный комплекс ХД [3]:

$$\langle S(F), S(M), S(W), P_F, T_F, A, X, Y \rangle. \quad (1)$$

Первые три компонента кортежа (1) являются структурами, заданными

на множестве элементов $S_i \in S$ программной среды ХД: $S(F) = \{S_{FP}, \dots, S_{FN}\}$ – совокупность функциональных подсистем программного комплекса ХД; $S(M)$ – структурная схема системы, включающая множество $M \equiv \text{Set}(S)M$ ее компонентов и имеющая собственную организацию $\text{Org}(S(M))$; $S(W)$ – условия формирования целостной системы (цели функционирования, принципы и алгоритмы управления, качество результата решения задачи проектирования и эффективность). Структурная схема системы $S(M)$ в (1) определяется компонентами:

$$S(M) = \langle M, C, T_M \rangle, \quad (2)$$

где C – множество, определяющее совокупность связей между функциональными элементами ХД в соответствии с организацией $\text{Org}(S(M))$, а T_M – множество моментов времени в виде последовательности взаимодействия между компонентами.

Управляя составом программного комплекса ХД, можно строить различные динамические архитектуры интер-



Рис. 1. Система ИП конструктора на основе программного комплекса ХД

претации проектных решений. Множество элементов M в структуре $S(M)$ имеет вид

$$M = \langle \{m_i\}, I(M), F(M), Q(S) \rangle. \quad (3)$$

Здесь $\{m_i\}$ – множество формальных моделей, реализующих заданные функции ИП; $I(M)$ – функция выбора модели (совокупности моделей); $F(M)$ – функции модификации моделей m_i ; $Q(S)$ – функция (множество функций) модификации системы S ее компонентов $I(M), F(M)$. Правила (3) определяют расширение функциональности, получение новых знаний на основе накопленных данных.

Условия формирования системы $S(W)$ представляются совокупностью

$$S(W) = \langle G, R, U_R, K_R, E_G \rangle, \quad (4)$$

где G – цели, обеспечивающие реализацию задачи проектирования R ; U_R – принципы и алгоритмы управления объектом разработки; K_R – качество результата решения задачи; E_G – эффективность, определяющая, какой ценой достигается цель G .

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЗНАНИЙ

В программном комплексе ХД формализуются методы и вычислительные алгоритмы ИП конструктора на основе технологии ГМ [5] и обработки больших объемов данных Big Data [9] и накопленных знаний предметной области проектирования ПЛ (рис. 2).

Универсальная структура ХД (рис. 3) позволяет осуществлять заданные функции в рамках трехуровневой архитектуры [3]. На первом уровне расположены внутренние и внешние источники данных. Второй уровень содержит центральное хранилище, куда стекается информация от всех источников с первого уровня, и оперативный склад данных, который выполняет функции источника аналитической информации для оперативного управления и подготовки данных для последующей загрузки в центральное хранилище. Третий уровень представляет собой набор предметно-



Рис. 3. Моделирование и визуализация проектных решений в динамической среде ХД

ориентированных витрин данных для оперативного взаимодействия с центральным ХД.

Технология PSE поддерживает реализацию функций системы ИП при разработке проекта ПЛ, предоставляя единый интерфейс взаимодействия для предметно-ориентированных программных модулей и компонент ХД на основе сервисно-ориентированной архитектуры (COA) [8]. Реализация разработанной технологии ориентирована не только на поддержку экстренных вычислений (Urgent Computing – UC) [10] программного комплекса ХД, но и на неоднородные системы, включая Грид-технологии и «облачные» вычисления [6]. При этом управление эффективностью выполнения сценариев вычислений, задаваемых потоком данных Work Flow (WF), позволяет обеспечить разделение ресурсов между различными вычислительными модулями и пользователями.

Таким образом, система ИП виртуального мониторинга ХД в рамках концепции PSE [7] может быть отнесена к классу интеллектуальных систем (ИС), обладающих сложной распределенной структурой (структурная сложность), многоцелевым характером преобразо-

вания информации (функциональная сложность), а также ориентацией на учет и формализацию неопределенности (информационная сложность).

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Рассмотрим основные принципы построения моделей проектных решений на основе программного комплекса ХД. Концептуальные решения построения системы ИП при интерпретации моделей проектных решений базируются на следующих теоретических принципах.

Принцип 1. Согласованность модели со структурой исходных данных. Из этого принципа следует, что при разработке конкретного метода интерпретации и прогноза необходимо дать описание исходной структуры данных, т.е. провести корректный статистический анализ и интерпретацию «скрытых» знаний на основе концепции Data Mining [1].

Принцип 2. Полнота, адаптивность и эволюционность модели. Модель должна описывать широкий диапазон изменений изучаемого процесса проектирования, самонастраиваться при описании конкретного класса динамики взаимодействия, а ее параметры должны изменяться в зависимости от точности воспроизведения интерпретируемой системы.

Принцип 3. Простота модели. Согласно этому принципу, интерпретирующая модель в процессе проектирования строится в рамках концепции минимальной длины описания (Minimal Description Length – MDL) [2], обеспечивает наглядность для исследования сложного взаимодействия на основе блочного представления (в виде программных модулей и универсальных прикладных программ). Заменяемость блоков и со-



Рис. 2. Современная концепция организации ХД

вершенствование вычислительной технологии ХД позволяют определить возможности модели, провести верификацию и вывести окончательную объективную оценку используемой модели.

Определение 1. Методологические аспекты построения интерпретирующей модели сводятся к следующим этапам: отбор исходных моделей; гибридизация моделей (выбор методов комплексации); реализация модели (оценка параметров); верификация модели (сравнительный анализ ошибок).

Определение 2. Возможности интерпретирующих свойств модели обеспечиваются с помощью свойств предсказуемости. Предсказуемость 1-го рода – это временной интервал упреждения, при котором средняя квадратическая ошибка прогнозирования становится близкой к величине дисперсии процесса. Предсказуемость 2-го рода – это возможные изменения прогнозируемой характеристики, зависящей от изменений предикторов.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ

Создание современного ХД [3] представляет собой всестороннее исследование концептуальных решений на различных стадиях проектирования в рамках междисциплинарного подхода. Это обеспечивает многопредметность описания процесса взаимодействия при построении динамической базы знаний ХД путем учета взаимосвязанных факторов ситуаций, определяющих результаты функционирования системы ИП. Оценка значения каждого из факторов и их совокупности, степени влияния на создаваемый облик ПЛ позволяет получить развернутую картину взаимодействия конструктора с программным комплексом ХД.

Принцип 4. Структурно-функциональное и динамическое единство, позволяющее описывать особенности функционирования и развития стадий проектирования в их единстве с учетом свойств взаимодействующих процессов во всем их многообразии. Это способствует более глубокому объяснению динамики ПЛ, раскрытию характера поведения ПЛ при различном характере внешних возмущений.

Принцип 5. Многоуровневость, обеспечивающая изучение процесса проектирования как определенной целостности и как структуры, включенной в более сложную систему, что позволяет исследовать общие закономерности системы и единичные черты объектов взаимодействия. Причем каждый из уровней может быть разбит на ряд подуровней, отражающих глубину проникновения в сущность процесса взаимодействия на каждом уровне.

Принцип 6. Причинно-следственные связи, определяющие глубокое изучение особенностей развития проектных ситуаций и позволяющие восстанавливать неизвестные причины и конкретные свойства ПЛ в рамках общей модели проектирования. Учет особенностей проектной ситуации требует не просто применения совокупности методов интерпретации, но и выработки управляющих воздействий путем обобщения полученных знаний в единую картину развития ситуации и практического применения полученных решений. Такой подход к исследованию процесса проектирования способствует расширению функциональных возможностей технологии ХД, обеспечивает взаимопроникновение и взаимообогащение научных методов, подходов и приемов, разработанных в программном комплексе ХД.

Концептуальная модель проблемной области проектирования ПЛ, определяющая поток информации при синтезе программой системы ХД, предусматривает, что основное системное отношение обеспечивает поддержание функциональной способности целого. Это дает возможность использовать в качестве правила операций с символами алфавита рассматриваемых компонент принцип системной декомпозиции [3,4], который в рассматриваемом приложении реализуется путем выполнения следующих правил:

$$R(T) = R(S) \bigcup_i \left(\bigcup_{k=1}^K F(k)(o, a)_i \right); \quad (5)$$

$$R(D) = \bigcup_i \left(\langle o, a \rangle_i \times R(k)(o, a)_i \right); \quad (6)$$

$$\forall \left(\langle o, a \rangle_j \in F(k)(o, a)_i \right), \left(F(k)(o, a)_i = 0 \right), \quad (7)$$

где $R(T)$ и $R(D)$ – элементы множеств, представляющие собой решение задачи построения концептуальной схемы ХД; $R(T)$ – множество выделенных пар $(o, a)_i$, (o – объект; a – атрибут) при решении задачи на k -м шаге декомпозиции; $R(S)$ – общее число задач рассматриваемого множества интерпретаций; $R(D) \subseteq R(T)$; $R(T)$ – отношение; $i = 1, \dots, K$; K – общее число шагов решения задачи $(o, a)_i$, а условие (7) определяет последовательность декомпозиции до момента ее завершения, причем множество $F(k)(o, a)_i$ такое, что

$$\langle o, a \rangle_i \times R(k)(o, a)_i \subseteq R(D). \quad (8)$$

ИНТЕГРИРОВАНИЕ СИСТЕМА ЗНАНИЙ СОВРЕМЕННОГО ХРАНИЛИЩА

В результате проведенного исследования определена онтология предметной области ИП проектных решений с обоснованной структурой и содержанием. Формальное описание интегри-

рованной системы знаний $S = \{S_i | i=1, \dots, N\}$ можно представить на основе онтологий:

$$\text{Ont}(\text{NET}) \rightarrow \langle \text{Ont}(\text{CONCEPT}), \text{Ont}(\text{CONNECT}) \rangle, \quad (9)$$

где $\text{Ont}(\text{CONCEPT})$ – множество понятий, обозначающих исследуемые задачи интерпретации проектных решений; $\text{Ont}(\text{CONNECT})$ – множество связей между понятиями.

На основе (9) концептуальная модель комплексной онтологии проектирования представляется в виде

$$\text{Ont}(\text{Com}) = \langle \text{Ont}(A), \text{Ont}(G) \rangle; \quad (10)$$

$$\text{Ont}(A) = \langle \text{Ont}(S), \text{Ont}(H), \text{Ont}(\text{Syn}), \text{Ont}(\text{SC}), \text{Ont}(\text{DM}) \rangle; \quad (11)$$

$$\text{Ont}(G) = \langle \text{Ont}(\text{Im}), \text{Ont}(\text{Cog}), \text{Ont}(\text{Vis}) \rangle, \quad (12)$$

где компонента $\text{Ont}(A)$ формализует стохастические $\text{Ont}(S)$ и детерминированные $\text{Ont}(H)$ системы, синергетическую парадигму $\text{Ont}(\text{Syn})$, концепцию Soft Computing $\text{Ont}(\text{SC})$ и Data Mining $\text{Ont}(\text{DM})$, а $\text{Ont}(G)$ – имитационное $\text{Ont}(\text{Im})$ и когнитивное моделирование $\text{Ont}(\text{Cog})$ и визуализацию $\text{Ont}(\text{Vis})$ динамических сцен.

Представление информации для анализа и классификации текстовой информации (Text Mining) в ХД образует модель «bag of words» в виде векторной и матричной моделей [3]:

$$X_j = \begin{bmatrix} x_j^{(1)} \\ \dots \\ x_j^{(i)} \\ \dots \\ x_j^{(M)} \\ \dots \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1^{(1)} \dots x_1^{(i)} \dots x_1^{(M)} \\ \dots \\ x_j^{(1)} \dots x_j^{(i)} \dots x_j^{(M)} \\ \dots \\ x_N^{(1)} \dots x_N^{(i)} \dots x_N^{(M)} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

В векторной модели каждый документ ХД описывается в M -мерном пространстве. Матричная модель получила наименование «документ – термин». Строки матрицы представляют собой документы, а столбцы – термины, содержащиеся в этих документах. В формуле (13) обозначено $x_j^{(i)}$ – вес термина в документе j ; $j = 1, \dots, N$; N – число документов в выборке; $i = 1, \dots, M$; M – число терминов.

Стратегия поиска физических эффектов и закономерностей в ХД обеспечивает эффективное использование технологии поиска при требуемом качестве и времени предоставления информации. Поисковая система для множества доступных документов $M_D = \{d_1, \dots, d_n\}$, строит индекс поиска как отображение множества ключевых слов (онтологий) $K = \{k_1, \dots, k_m\}$ в множество запросов $I = K \rightarrow M_D$ [3]. Запрос на поиск формируется как $F(K_F)$, где $K_F \subseteq K$, а результат поиска – множество документов $M_R \subseteq M_D$;

$$M_{D_i} \in M_R \Rightarrow K_{di} \in K_F \Rightarrow F(K_F) = \text{true}. \quad (14)$$

где K_{ai} – ключевое множество слов документа d_i . Пространство индекса поиска имеет вид

$$Ind: M_v(x, y, z) \rightarrow M_D, \quad (15)$$

где $M_v(x, y, z)$ – трехмерное пространство, в котором каждому документу сопоставлен объект этого пространства – образ множества документов.

КОНЦЕПЦИИ ГИБРИДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (ГМ) И BIG DATA В СРЕДЕ ЭКСТРЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Функциональный базис ХД обеспечивает формирование вычислительного комплекса ГМ поведения ПЛ при различном уровне внешних возмущений. Интеграция процедур ГМ осуществляется на основе SOA [8] с использованием широкого класса алгоритмов интерпретации, построенных в рамках парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде [3] – концепции Data Mining [1] и Soft Computing [11] с использованием нейродинамических систем (ND-систем, систем итерированных функций (СИФ) и когнитивного моделирования [3, 4]

Организация высокопроизводительной инфраструктуры программного комплекса ХД направлена на решение больших задач хранения и обработки данных в рамках концепции Big Data [9], расширяющей функциональные возможности ХД с помощью методов и моделей обработки больших объемов данных.

Важное практическое приложение концепции Big Data в программном комплексе ХД связано с созданием эффективной системы ИП управленческих решений на различных стадиях проектирования ПЛ. Это определило развитие следующих направлений в области приложений концепции Big Data:

- организация вычислительных инфраструктур Big Data на основе принципов «облачных» вычислений; развитие предметно-ориентированных средств описания процессов в Big Data и декомпозиции вычислительных приложений ХД;
- развитие методов планирования распределенной среды программного комплекса ХД с целью приложений Big Data при создании систем ИП на основе технологий интерактивной визуализации и виртуальной реальности;
- применение технологий Big Data для решения прикладных задач проектирования и устранения нерациональных решений.

Таким образом, реализация концепций гибридного моделирования и Big Data формирует теоретическую основу развития технологий создания и управления быстродействующими системами

хранения и обработки сверхбольших объемов данных в распределенной вычислительной среде ХД.

МУЛЬТИМОДЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕШЕНИЙ

Проблема оптимального использования различных классов моделей в прикладных задачах проектирования решается путем создания интегрированного программного комплекса ХД. Вычислительная среда мультимодельного комплекса (ММК) функционирует в соответствии с целями проектирования [3], обеспечивая выполнение процедур интерпретации на уровнях пространств поведения и управления СТК [4]. На рис. 4 представлено описание разработанных интеллектуальных модулей ММК системы ИП конструктора. Эти модули обеспечивают широкий спектр решения проектных задач на различных стадиях выполнения проекта ПЛ. Включение новых методов и алгоритмов анализа и интерпретации информации в виде дополнительных модулей ИП позволит расширить функциональные возможности системы ИП и не приведет к изменению ее общей структуры и концепции использования информационной технологии ХД.

Конкретизация приведенных этих задач обеспечивается с помощью потока данных для различных стадий проектирования ПЛ.

Совокупность объектов ММК определяет поле интерпретации среды взаимодействия:

$$P(Int) = \langle Q_1(R(B)), \dots, Q_m(R(B)); Q(R(U)), \dots, Q_n(R(U)) \rangle, \quad (16)$$

где кортеж $\langle Q_1(R(B)), \dots, Q_m(R(B)) \rangle$, $Q_1(R(U)), \dots, Q_n(R(U))$ представляет собой интеграцию моделей пространств поведения и управления в структуре

функциональных модулей программного комплекса ХД.

Каждая из этих структур определяет свои ограничения и требования к компонентам ММК. Развитие вычислительной технологии ИП проектных решений позволяет выделить ключевые критерии, обеспечивающие контроль среды взаимодействия:

$$Ant(S) = \langle G(M), S(I, O), M(D, C) \rangle, \quad (17)$$

где $G(M)$ – цели ИП; $S(I, O)$ – сценарии взаимодействия и оптимизации ситуаций; $M(D, C)$ – методы поиска стратегических решений (соотношение реализаций и решений).

Отдельной задачей формирования программного комплекса ХД является агрегация разнородных источников данных с использованием корректных алгоритмов [3, 4]. Анализ позволяет сформулировать общий методологический подход использования ММК при интерпретации проектных решений:

$$Inf(CAM) = \langle D(Q), S(A), T(C_R, Opt) \rangle, \quad (18)$$

где структура $Inf(CAM)$ определяет интеграцию данных в рамках широкого круга задач И: оценка качества моделей $D(Q)$ и их структурной адекватности $S(A)$ при использовании множества альтернативных моделей; задач многокритериальной оптимизации $T(C_R, Opt)$.

ЭКСТРЕННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ

В отличие от традиционных представлений потока данных Workflow [7, 8], разработанная парадигма построения программного комплекса ХД реализует концепцию UC [10] в виртуальной среде (рис. 5) в рамках структурно-инвариантной системной декомпозиции и комплексной онтологии виде единого алгоритмического «ядра» взаимосвязанных структур на следующих уровнях:

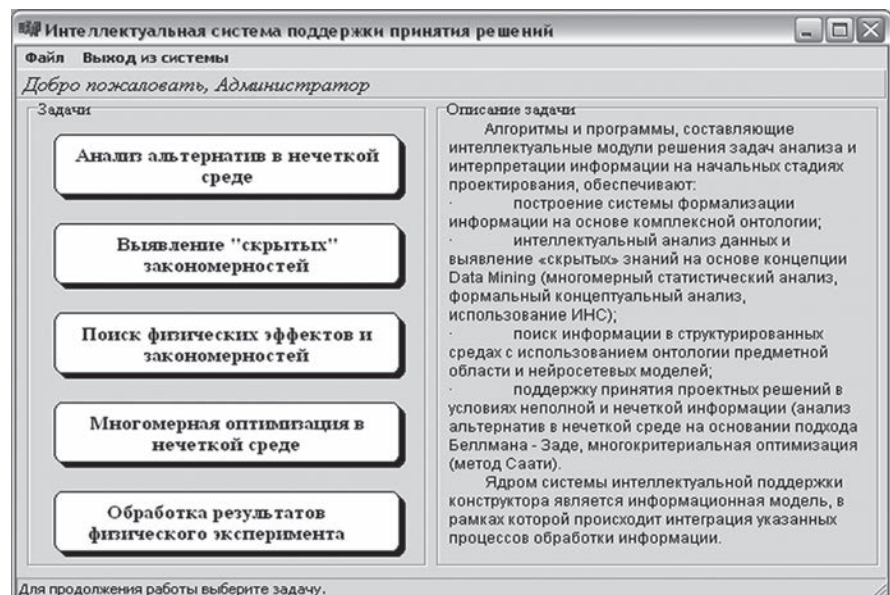


Рис. 4. Описание модулей ИП проектных решений

Workflow = < Meta, Subject, Task >; (19)

– на верхнем, стратегическом, уровне *Meta* организуется мета-поток, формирующий описание функциональных элементов ММК, обеспечивающие решение общих задач интерпретации многомерных данных в пространстве поведения и управления СТК [4];

– на следующем предметном уровне *Subject* располагаются элементы ММК, поддерживающие выполнение задач идентификации и оценки проектной ситуации с целью декомпозиции задачи на подзадачи в рамках формализованных моделей;

– нижний уровень элементов ММК *Task* обеспечивает формализацию ситуации – уровень задач, реализующий конкретный поток данных в виде семантически значимых понятий и множества интерпретаций этих понятий и отношений (декларативных и процедурных), позволяющих на иерархическом уровне реализовать концепцию конкуренции в мультипроцессорной вычислительной среде.

На основе парадигмы Workflow вычислительный комплекс ХД реализует сложное преобразование информации. Задача интерпретации рассмотрена как поиск экстремума некоторого критерия $C_R(G(M))$, обеспечивающего выделение необходимого класса моделей на множестве $\Phi(M)$ описаний ММК:

$$f^* = \arg \min_{f \in \Phi} CR(G(M)). \quad (20)$$

Условие (20) формулирует задачу выбора, для решения которой необходимо задать вид и объем исходной информации, класс базисных функций (операторов) из которых формируется множество $\Phi(M)$, определить способ генерации моделей $G(M)$ вместе с методом оценивания параметров, выбрать критерий сравнения моделей, указать метод оптимизации $CR(G(M))$.

Экстремальные задачи (20) содержат в себе ряд неопределенностей, характерных для моделирования по данным наблюдений. Рассматривают три основные группы неопределенностей. Первая из них относится к данным измерений – физической информации об объекте моделирования, вторая – к средствам обработки данных на основе технологии моделирования, а третья – к прогнозированию ситуации.

В рамках представленной концептуальной модели формализуются процессы структурной и функциональной конфигурации на основе аппарата знаний, организованного на базе синергетической теории управления и когни-

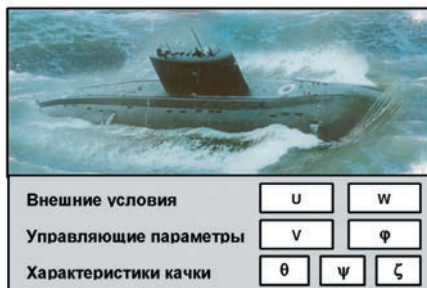


Рис. 5. Виртуальная среда ИП моделирования и визуализации

тивной парадигмы [3] с использованием принципа сложности и концепции MDL [2]. Функционирование программного комплекса ХД осуществляется на базе вычислительных процедур с высокой степенью параллелизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эволюция программных технологий в системах ИП проектных решений охватывает все новые прикладные области, отражая различный характер управленческой деятельности. На низшем уровне иерархии программная технология является информационной и обеспечивает сбор, обработку, хранение и поиск информации по запросу пользователей автоматизированных рабочих мест. С этой целью системы ИП проектных решений взаимодействуют с программным комплексом ХД, обеспечивающим управляемый технологический процесс создания ПЛ как чрезвычайно сложного многофункционального объекта. На более высоких уровнях иерархии программная технология включает оптимизационные задачи, связанные с принятием решений по выбору основных конструктивных элементов и узлов создаваемой ПЛ, а также по управлению совокупностью взаимосвязанных этапов проектирования при ИП программного комплекса ХД. В процессе проектирования этот ресурс обеспечивает конструктора имеющейся информацией и пополняется новыми знаниями, полученными при разработке проекта.

Таким образом, информационные процессы сбора, передачи, обработки и выдачи информации в системах ИП современного ХД носят сложный и разноплановый характер. Это предъявляет повышенные требования к функциональности систем ИП и к качеству их программного обеспечения, устойчивой тенденцией эволюции которого является его постоянное усложнение и повышение наукоемкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. –

СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
 2. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987.
 3. Кормилицын Ю.Н., Нечаев Ю.И. Интеллектуальная поддержка проектных решений при создании подводных лодок новых поколений. – СПб.: Арт-Экспресс, 2020.*
 4. Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. – СПб.: Арт-Экспресс, 2011.
 5. Figueira G., Almada-Lobo B. Hybrid simulation–optimization methods: A taxonomy and discussion // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2014. – Т. 46. – С. 118–134.
 6. Foster I., Zhao Y., Raicu I., Lu S. Cloud Computing and Grid Computing 360-Degree Compared // Preprint arXiv:0901.0131, 2008. – [Электронный ресурс]: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0901/0901.0131.pdf>
 7. Gallopoulos S., Housts E., Rice J. Problem Solving Environment // IEEE Computational Science and Engineering, Summer, 1994.
 8. Lublinsky B. Defining SOA as an architectural style. 9 January 2007. – [Электронный ресурс]: <http://www.ibm.com/developerworks/architecture/library/arsoastyle/>
 9. Szalay A. Extreme data-intensive scientific computing // Computing in Science & Engineering. – 2011. – Т. 13. – №. 6. – С. 34 – 41.
 10. Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab, University of Chicago, April 25–26, 2007. – [Электронный ресурс]: <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php>.
 11. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Commutation on the ASM-1994. – Vol.37. – №3. – P.77–84. ■

*Монографию «Интеллектуальная поддержка создания подводных лодок новых поколений» можно приобрести по адресу: 199155, Санкт-Петербург, В.О., ул. Уральская, 17/3, Офис 4. E-mail: zakaz@art-xpress.ru



Преимущества скоростных амфибийных судов обусловлены возможностью крейсерского движения в режимах «парения» или полета, при котором сила аэродинамического сопротивления имеет близкую или много большую величину, чем сила гидродинамического сопротивления [1]. Современные скоростные амфибийные суда используют для поддержания корпуса над водой воздушную подушку, формируемую отдельной нагнетательной системой и ограждением, или силу аэродинамического поддержания, действующую на профилированные части корпуса со стороны встречного потока. Вблизи земной (или водной) поверхности аэродинамическая сила, действующая на крыло со стороны встречного потока, может увеличиваться с уменьшением высоты – наблюдается экранный эффект. Положительное влияние этого эффекта используется не только для обеспечения движения экранопланов над водной поверхностью, но и для поддержания корпуса судов, движущихся в контакте с водной поверхностью. Примерами таких судов являются амфибийное судно на воздушной подушке (СВП) с аэродинамической разгрузкой проекта «Тунгус» (гибрид СВП и экраноплана (рис. 1, а), катамаран с аэродинамической разгрузкой проекта А2V (профилированная рубка (рис. 1, б).

Выбор наиболее адекватного техническому заданию варианта аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного судна напрямую связан с выбором способа поддержания, поскольку аэрогидродинамика системы поддержания оказывает влияние как на характеристики ходкости [2], устойчивости и управляемости судна, так и на обтекание элементов компоновки, а также на забрызгиваемость и обледенение.

В ходе проектирования аэрогидродинамической компоновки гибридного скоростного амфибийного судна, использующего воздушную подушку и положительное влияние экранного

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ СКОРОСТНОГО АМФИБИЙНОГО СУДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

А.В. Февральских, канд. техн. наук, науч. сотрудник ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
контакт. тел. +7 (901) 729 3693, a.fevralskih@gmail.com

эффекта, необходимо принимать во внимание особенности проектирования и судов на воздушной подушке, и экранопланов. В ходе проектирования крыла гибридного судна необходимо учитывать совместное выполнение критериев устойчивости на воздушной подушке [3], устойчивости полета экраноплана [4], влияние изменения геометрических и аэродинамических характеристик компоновки на выполнение этих критериев [5]. Задача проектирования наиболее адекватной техническому заданию аэродинамической компоновки гибридного судна может рассматриваться как активный эксперимент в многофакторном пространстве, к которому применима постановка задачи оптимального планирования.

В качестве критерия «рациональности» или «эффективности» аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного пассажирского судна удобно рассматривать показатель

$$k_{ef} = \frac{(n \cdot L)^2}{G_0 m_t}, \quad (1)$$

В соотношении (1) n – количество пассажиров; L – максимальная дальность крейсерского хода, км; G_0 – масса судна с грузом и топливом в начале движения, кг; m_t – масса топлива, кг.

Соотношение (1), по сути, является обратной величиной от произведения удельного расхода топлива и потребной взлетной массы судна для

перевозки одного пассажира на 1 км в режиме крейсерского хода. Здесь одновременно учитывается и масса конструкции, и, как будет показано далее, аэродинамическое качество компоновки. Преимущество подхода к оценке эффективности по критерию k_{ef} заключается в возможности сравнения аэрогидродинамических компоновок судов различной массы и дальности движения.

При массе пассажира с багажом 90 кг очевидно, что масса конструкции судна G_k определяется по соотношению

$$G_k = G_0 - m_t - 90 \cdot n. \quad (2)$$

Принимая количество пассажиров n , взлетную массу G_0 и массу топлива m_t в качестве исходных данных для проектирования аэрогидродинамической компоновки, можно показать, что для амфибийного судна значение k_{ef} зависит от аэрогидродинамического качества K . При крейсерском движении в режиме экраноплана $K = c_y / c_x$ (c_y – коэффициент подъемной силы, c_x – коэффициент аэродинамического сопротивления), а в режиме хода на воздушной подушке $K = G/R$ (G – сила тяжести, R – сопротивление). Максимальная дальность хода L может быть представлена в виде соотношения

$$L = \alpha \frac{\bar{G}_m \cdot K}{g \cdot C_e}, \quad (3)$$

где C_e – удельный массовый расход топлива на единицу времени и потребной мощности, \bar{G}_m – удельный запас топлива (в долях взлетной массы),



Рис. 1. Суда, использующие положительное влияние экранного эффекта: а – проект «Тунгус», б – проект А2V

Проектирование аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного судна

Этап	Стадия
Аналитический: отбор информации осуществляется на основании анализа технического задания и характеристик предыдущих проектов	1. Определение исходных данных проектирования: <i>протяженность маршрута, количество пассажиров, ограничения по габаритам, количество и доступность остановочных пунктов, климатические условия эксплуатации</i>
	2. Выбор типа воздушной подушки: <i>классическая, скеговая, баллонетная, динамическая и др.</i>
	3. Применение положительного влияния экранного эффекта: <i>полная или частичная разгрузка за счет аэродинамического обтекания профилированных элементов компоновки вблизи экрана</i>
Расчетный: построение первого варианта аэрогидродинамической компоновки	4. Выбор формы и размерений основных элементов компоновки, построение компоновки, определение стационарных аэрогидродинамических характеристик
	5. Определение характеристик устойчивости, управляемости, маневренности, потребной мощности и дальности хода
	6. Выбор маршево-силовой установки, определение характеристик компоновки с учетом ее влияния на аэрогидродинамику, анализ влияния брызг и обледенения
Оптимизационный: выполнение проектных исследований, направленных на поиск технических решений с целью приведения компоновки в соответствие с исходными данными	7. Отбор характеристик компоновки, значения которых препятствуют приведению компоновки в соответствие с техническим заданием
	8. Постановка и решение оптимизационной задачи: <i>определение оптимальной формы и взаимного расположения элементов компоновки с использованием средств автоматизации проектирования</i>
	9. Анализ результатов оптимизации, формирование предложений по корректированию технического задания

g – ускорение свободного падения, α – множитель, зависящий от выбора единиц измерения.

Таким образом, чем выше аэрогидродинамическое качество K компоновки амфибийного судна или чем ниже удельное сопротивление, тем меньше потребная мощность и тем выше значение критерия k_{σ} при прочих равных условиях.

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ

Последовательность деятельности при проектировании аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного судна может быть представлена в следующих этапах (табл. 1).

С учетом актуального уровня развития вычислительных технологий на этапе расчета и оптимизации аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного судна целесообразно использовать программное обеспечение автоматизированного проектирования с поддержкой численного моделирования аэрогидродинамики. Развитие систем автоматизированного проектирования (САПР) на текущем четвертом этапе промышленной революции привело к идее создания «цифровых двойников». Цифровой двойник – это цифровая копия физического объекта или технического процесса, помогающая оптимизировать его работу и повысить эффективность. Рассматривая разработку аэродинамической компоновки скоростного амфибийного судна с использованием технологий численного моделирования как *технический* процесс, можно ввести понятие «цифровой двойника аэродинамической компоновки скоростного

амфибийного судна». Тогда цифровая копия аэродинамической компоновки должна включать следующие составляющие:

1. Набор данных, описывающих требования к проектируемому судну и налагаемые ограничения (наследуются из технического задания, результатов предыдущих работ и теории проектирования);

2. Математические и численные модели, описывающие связи между различными компоновочными параметрами, полученные по результатам экспериментальных исследований и численного моделирования.

3. Вычислительные модели новых (недостающих) связей между характеристиками компоновки – вычислительные модели узлов компоновки;

4. Архитектуру данных и моделей, реализованную в одном из распространенных форматов (интерфейсов) или же реализованную в формате оригинальной компьютерной программы.

Для создания вычислительных моделей аэрогидродинамики с поддержкой инструментов автоматизированной оптимизации хорошо подходит ПО Ansys, интегрированное на платформе Workbench. Платформа Ansys Workbench поддерживает численное моделирование аэрогидродинамики (включая брызгообразование и обледенение), а также выполнение многовариантных оптимизационных расчетов. В ходе оптимизации компоновки с использованием Ansys Workbench может быть разработана структура и выполнена настройка ROM-модели (Reduced-Order Model – модель пониженного порядка), которую можно рассматривать как «цифровой двойник» узла аэрогидродинамической компоновки. Создание

вычислительной модели судна целиком на платформе Ansys Workbench представляется нерациональным, поскольку подразумевает создание факторного пространства с размерностью $n \sim 20$, для которого попытка решения оптимизационной задачи, очевидно, приведет к коллапсу вычислений. Для создания цифрового двойника на основе ROM-моделей узлов аэродинамической компоновки целесообразно использовать специализированное программное обеспечение, например, Ansys Twin Builder.

Технологии цифрового двойника применяются в решении различных проблем проектирования и эксплуатации судов. В работе [6] изложены основы методики разработки цифрового двойника дизельного двигателя для прогнозирования динамики пропульсивной системы судна. С использованием цифрового двойника определены значения угла впрыска, соответствующие максимальному давлению в цилиндре при различных режимах загрузки двигателя, исследована динамика переходных процессов. В работе [7] представлены результаты разработки цифрового двойника автономной модели судна, выполнена верификация результатов моделирования с использованием разработанной модели по результатам натурных испытаний. Показана возможность использования цифрового двойника для определения местоположения и динамики автономного судна. Работа [8] посвящена анализу возможности применения технологий системного инжиниринга и цифрового двойника для разработки и эксплуатации круизных судов. В работе [9] представлены результаты применения цифрового двойника для исследования проблемы потери скорости грузовых судов

вследствие обрастания корпуса и гребного винта. С использованием цифрового двойника выполнен прогноз потери производительности между периодами очистки. Показано, что результаты прогноза с использованием цифрового двойника оказываются более точными, чем рекомендации в соответствии с ISO 19030. В работе [10] исследуются возможности применения стандартов системного моделирования и хранения данных для разработки цифрового двойника судна. Показано, что применение стандарта FMU/FMI при разработке цифрового двойника способствует развитию его функционала и обеспечивает возможность подключения моделей различных систем эксплуатации и обслуживания судна по мере необходимости.

В настоящей работе исследуются возможности ПО Ansys для создания ROM-модели аэродинамической компоновки крыла, горизонтального оперения и пилона маршево-силовой установки (МСУ) скоростного амфибийного судна (рис. 2) на основе численного моделирования аэродинамики методом контрольных объемов. С использованием ROM-модели в автоматизированном режиме определены значения угла установки φ_p пилона МСУ и его отстояния от крыла λ_p , соответствующие максимальному значению аэродинамического качества K , выявлены характерные зависимости коэффициентов аэродинамических сил от параметров установки пилона φ_p и λ_p , предложено физическое объяснение полученных зависимостей. Представлены основные этапы разработки ROM-модели с использованием программного комплекса Ansys Workbench, выполнена постановка задачи автоматизированного активного эксперимента, построена поверхность отклика. Решена оптимизационная задача на основе технологий численного моделирования определены парамет-

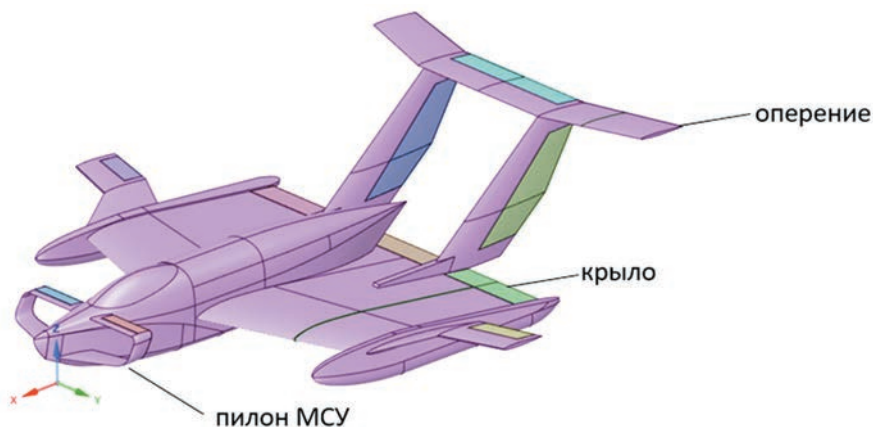


Рис. 2. Компоновочный вариант скоростного амфибийного судна, принятый для исследований

ры установки пилона, обеспечивающие максимальное значение аэродинамического качества исследуемой компоновки.

ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Для выполнения вычислительного эксперимента по определению аэродинамического качества K как функции отклика в факторном пространстве φ_p и λ_p принимается плоская САД-модель области течения (рис. 3), содержащая профили пилона МСУ, профиль основного несущего крыла и профиль горизонтального оперения. Фактор λ_p отсчитывается от передней кромки несущего крыла в направлении носа

судна в долях хорды профиля пилона, фактор φ_p отсчитывается в градусах относительно задней кромки профиля пилона против часовой стрелки.

Схема вычислительного проекта, сформированного в ПО Ansys Workbench, включает следующие модули (рис. 4):

- обработки САД-модели Geometry, в котором программируется изменение независимых факторов φ_p и λ_p ;
- построения сеточной модели Mesh;
- Fluent для решения методом контрольных объемов осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса вязкого турбулентного течения воздуха, замкнутых моде-

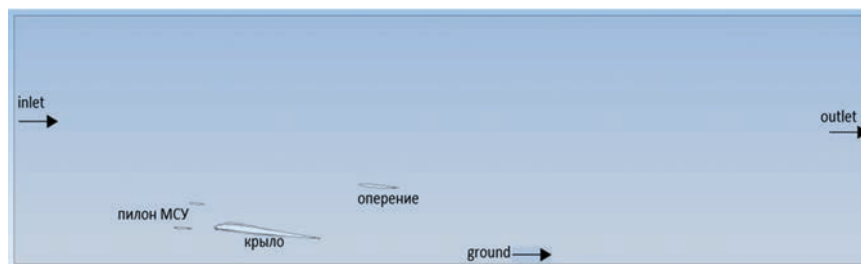


Рис. 3. САД-модель области течения для постановки вычислительного эксперимента

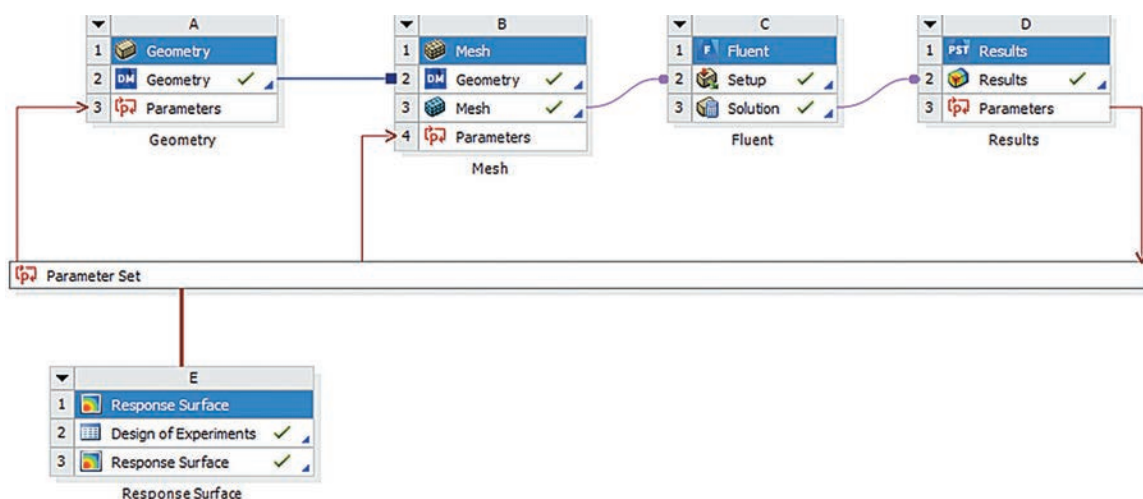


Рис. 4. Схема вычислительного проекта в Ansys Workbench

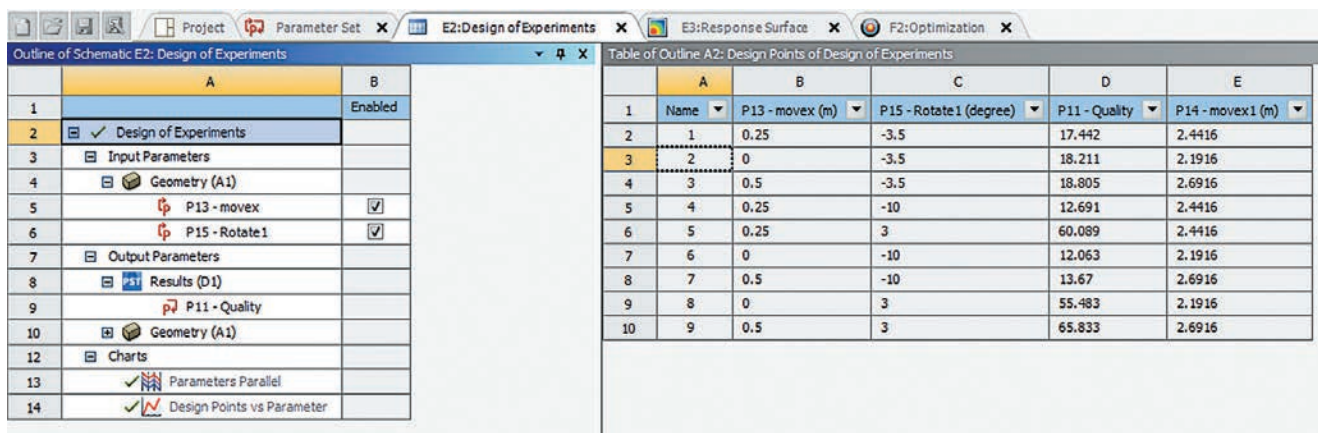


Рис. 5. Интерфейс программного модуля Design of Experiments

лю турбулентности SST, вблизи системы профилей и подвижного экрана (рис. 3);

- Results – для обработки результатов моделирования и программирования выходных параметров (в том числе функции отклика K);
- Parameter Set – для настройки связи между параметрами многовариантного моделирования;
- Response Surface – для автоматизированного планирования эксперимента, формирования поверхности отклика и генерации ROM-модели.

При построении контрольно-объемной сеточной модели использовался метод Multizone, позволяющий получать неструктурированные сетки с преимущественным заполнением четырехугольными элементами. Вблизи поверхностей аэродинамических профилей были сформированы призматические слои, сгущающиеся по нормали к поверхностям, с толщиной ближайшего к стенке слоя $\Delta y \sim 0,1$ мм. Количество элементов сеточной модели составило $\sim 10^5$ единиц. Скорость моделируемого воздушного потока $V = 30$ м/с (граничное условие inlet). На нижней поверхности области течения ground задано граничное условие подвижного экрана со скоростью, равной скорости воздушного потока. Правой границе моделируемой области присвоено условие свободного истечения. Отстояние задней кромки крыла от нижней поверхности составляет 0,1 единицы хорды крыла.

Для автоматизированного планирования вычислительного эксперимента выбрана схема Central Composite Design и план эксперимента типа VIF-Optimality с исходными границами факторного пространства $\lambda_p \in [0; 0,5]$ и $\varphi_p \in [-10^\circ; 3^\circ]$. При данной схеме планирования количество уровней эксперимента N_l определяют, исходя из минимизации максимального значения фактора инфляции дисперсии всех

членов регрессии, с использованием соотношения

$$N_l = l_c + 2 \cdot n + 2^{(n-f)}, \quad (4)$$

где n – количество факторов, $l_c = 1$ – «центральная» точка факторного пространства, f – факторное число (при $n = 2, f = 0$).

В ходе выполнения вычислений выбор уровней эксперимента передача данных между отдельными модулями вычислительного проекта и обработка результатов осуществлялась в автоматическом режиме. Интерфейс программного модуля Design of Experiments по окончании вычислений с результатами эксперимента представлен на рис. 5.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В результате выполнения вычислительного эксперимента получена поверхность отклика $K = f(\varphi_p, \lambda_p)$ (рис. 6). Анализ результатов показы-

вает, что аэродинамическое качество компоновки растет по мере отдаления пилона от крыла и увеличения угла установки φ_p . При этом наиболее заметное влияние на изменение величины аэродинамического качества оказывает фактор φ_p ; с его изменением аэродинамическое качество K меняется в интервале от 12 до 65 единиц, в то время как при $\varphi_p = 3^\circ$ с изменением λ_p аэродинамическое качество меняется не более чем на 20%. Сравнительно большее влияние угла установки пилона можно объяснить, исследуя зависимости коэффициентов аэродинамических сил, действующих на компоновку и на крыло в отдельности (рис. 7). Анализ зависимостей, приведенных на рис. 7, показывает, что коэффициент подъемной силы с изменением факторов φ_p и λ_p меняется не более чем на 5%, а коэффициент сопротивления компоновки с увеличением φ_p снижается в 4 раза. При этом наблюдается и рост сопро-

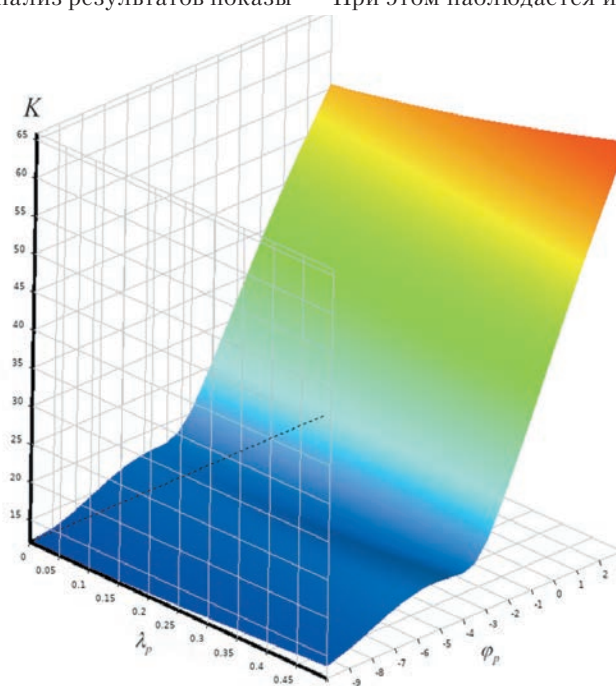


Рис. 6. Поверхность отклика $K = f(\varphi_p, \lambda_p)$, полученная в результате вычислительного эксперимента

тивления крыла, однако при $\varphi_p = -10^\circ$ сопротивление пилона превышает сопротивление крыла, по-видимому, более чем в 2 раза.

Анализ результатов вычислительного эксперимента, представленных на рис. 7, привел к идее решения оптимизационной задачи в расширенном факторном пространстве, для чего в вычислительный проект был введен модуль Direct Optimization (рис. 8), связанный с модулями Parameter Set и Response Surface. Поставлена оптимизационная задача поиска точек факторного пространства, удовлетворяющих значению аэродинамического качества $K = 70 \pm 2$ единицы. В результате решения оптимизационной задачи сформирована таблица точек поверхности отклика, удовлетворяющих заданному критерию (табл. 2).

Таблица 2

Результаты автоматизированного решения оптимизационной задачи

Обозначение	Вариант		
	1	2	3
l_p	0,15	0,65	0,56
$j_p, ^\circ$	6,49	5,21	5,94
K	70,06	69,43	68,86

Примечательно, что заданному значению аэродинамического качества K удовлетворяют различные значения фактора $\lambda_p \in [0; 1]$ при достаточно близких значениях φ_p . Тем самым результаты табл. 2 можно использовать при выборе положения МСУ и положения центра тяжести проектируемого судна.

Последующее расширение границ факторного пространства до

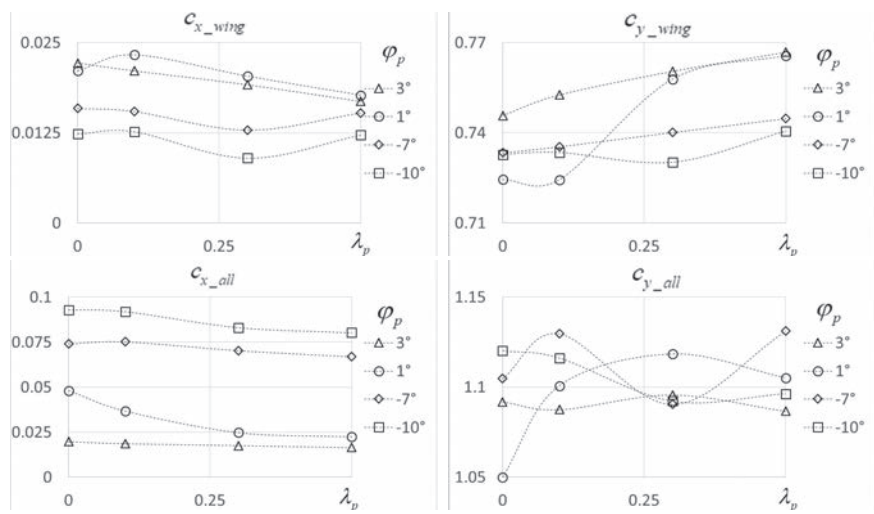


Рис. 7. Зависимости коэффициентов аэродинамических сил, действующих на крыло (c_{x_wing} , c_{y_wing}) и на компоновку (c_{x_all} , c_{y_all}) от отстояния пилона λ_p и угла его установки φ_p .

значений $\lambda_p \in [0; 1]$ и $\varphi_p \in [-10^\circ; 10^\circ]$ и поиск точек поверхности отклика, удовлетворяющих требованию $K = 80$ единиц, не привели к положительному результату. Тем самым, результаты оптимизации показали, что значение аэродинамического качества $K = 70 \pm 2$ единицы является максимально возможным для данного компоновочного узла (табл. 3).

Постановка задачи для объемной САД-модели осуществляются по аналогичной методике, однако требуются сравнительно большие затраты вычислительных ресурсов для стадий построения сеточной модели и решения уравнений Навье–Стокса. В представленной постановке автоматизированное планирование и выполнение оптимизационного эксперимента, включающего

Таблица 3

Результаты решения задачи оптимизации в пространстве $\lambda_p \in [0; 1]$ и $\varphi_p \in [-10^\circ; 10^\circ]$

№ уровня	l_p	$j_p, ^\circ$	K
1	0,69	3,44	69,21
2	0,31	4,31	67,63
3	0,44	6,94	67,56
4	0,81	7,81	63,95
5	0,19	8,69	65,74
6	0,94	5,19	68,41
7	0,06	6,06	70,76
8	0,56	9,56	59,91
9	0,01	6,08	71,59
10	0,13	3,50	61,68
11	0,43	5,59	70,40
12	0,54	6,46	69,13

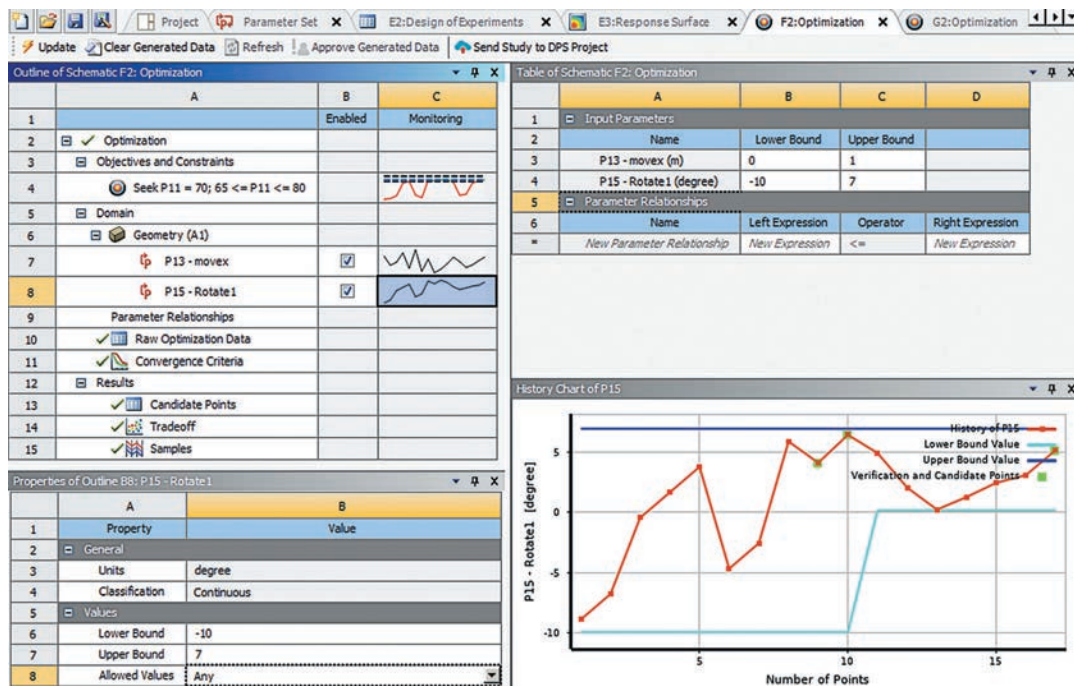


Рис. 8. Интерфейс модуля Direct Optimization

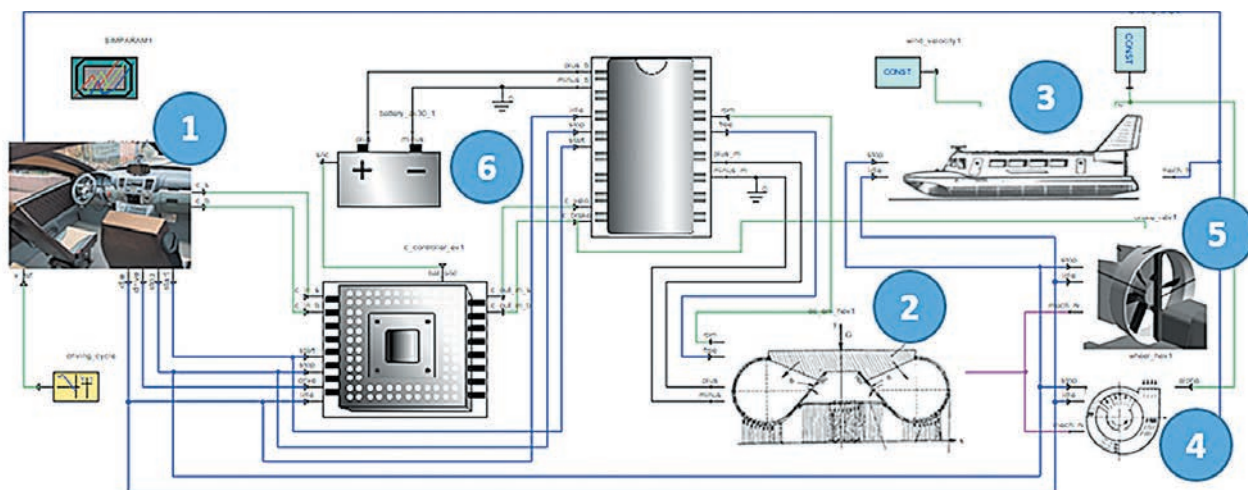


Рис. 9. Пример архитектуры цифрового двойника скоростного амфибийного судна

1 – модель панели управления; 2 – аэрогидродинамическая модель несущего комплекса (воздушной подушки); 3 – аэродинамическая модель рубки; 4 – аэродинамическая модель нагнетающей системы; 5 – модель движительно-рулевого корпуса; 6 – модель системы управления, двигателя, аккумулятора и трансмиссии

17 уровней, занимает не более 1,5–2 часов при использовании 4-ядерного компьютера с процессором Intel Core i-7 6700 (3,4 ГГц) и оперативной памятью 64 Гб.

ROM-МОДЕЛЬ В СТРУКТУРЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Для интеграции в цифровой двойник построенной и исследованной ROM-модели компоновочного узла необходимо сохранить ее в формате *.fmu (Functional Mock-up Unit – «функциональный макет»). Интерфейс Functional Mock-up является стандартным форматом хранения и передачи моделей киберфизических систем и поддерживается в программном обеспечении разработки цифровых двойников.

Интеграция ROM-модели узла аэродинамической компоновки с цифровыми моделями других систем судна может быть реализована с использованием специализированного ПО, предназначенного для разработки цифровых двойников сложных технических систем. Примером такого ПО является Ansys TwinBuilder. На рис. 9 показан пример архитектуры цифрового двойника скоростного амфибийного судна в интерфейсе программного обеспечения Ansys TwinBuilder.

Важно отметить, что разработка наиболее полного цифрового двойника аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного судна должна осуществляться с использованием в основе общепринятых алгоритмов проектирования. При этом иерархия данных должна удовлетворять связанности проектирования различных узлов и технических систем, а в качестве инструмента верификации проектных решений могут использоваться как испытания, так и технологии численного моделирования.

Разработка цифрового двойника амфибийного судна в целом представляется достаточно сложной технической задачей, решение которой может осуществляться в ходе НИОКР силами научных коллективов, обладающих компетенцией в проектировании судов и в области численного моделирования аэрогидродинамики, а также в сфере цифровых технологий и работы с большими массивами данных. Однако, как показывают предварительные разработки, успешное решение такой задачи может способствовать развитию автоматизации проектирования, повышению качества проектов и уровня их проработанности, а также появлению новых компоновочных решений, потребность в которых испытывает индустрия скоростного судостроения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложены основы методики разработки ROM-модели аэродинамической компоновки крыла, оперения и пилона МСУ скоростного амфибийного судна. С использованием технологий автоматизированного проектирования и численного моделирования выполнена настройка и решена задача автоматизированной оптимизации компоновки пилона МСУ, крыла и оперения (в плоской постановке) как активного многоуровневого эксперимента. По результатам решения оптимизационной задачи определены значения угла установки и отстояния пилона от крыла, соответствующие максимальному значению аэродинамического качества. Предложены рекомендации по разработке цифрового двойника аэрогидродинамической компоновки скоростного амфибийного судна на основе технологий ROM-моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Войткунский Я.И.* Сопротивление движению судов. – Л.: Судостроение, 1988. – 288 с.
2. *Февральских А.В.* Численное исследование влияния удлинения крыла на характеристики движения под действием экранного эффекта амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой // Изв. КГТУ – 2019 – № 53 – С. 182–192.
3. *Демешко Г.В.* Проектирование судов. Амфибийные СВП: Учебник. – В 2-х кн. – Кн. 1. – СПб.: Судостроение, 1992. – 269 с.
4. *Иродов, Р.Д.* Критерий продольной устойчивости экраноплана при полете с постоянной скоростью вблизи экрана. // Ученые записки ЦАГИ. – 1970. – №4. – Т. 1. – С. 63–74.
5. *Грамузов Е.М., Любимов В.И., Смирнов К.В., Соснов А.В., Февральских А.В.* Автоматизированная оптимизация компоновки крыла и горизонтального оперения экраноплана по результатам численного моделирования аэродинамики // Морские интеллектуальные технологии // – 2019. – № 1 (43) // – Т.3. – С. 38–47.
6. *Bondarenko Oleksiy, Fukuda Tetsugo.* Development of a diesel engine's digital twin for predicting propulsion system dynamics // Energy. – 2020. – Vol. 196.
7. *Danielsen-Haces Alexander.* Digital Twin Development Condition Monitoring and Simulation Comparison for the ReVolt Autonomous Model Ship. – Master of Science in Cybernetics and Robotics, Norwegian University of Science and Technology, 2018.
8. *Arrichiello V., Gualeni P.* Systems engineering and digital twin: a vision for the future of cruise ships design, production and operations // International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 2019.
9. *Data-driven ship digital twin for estimating the speed loss caused by the marine fouling // Ocean Engineering. – 2019. – №186.*
10. *Fonseca Ícaro Aragão, Gaspr Henrique Murilo.* Challenges when creating a cohesive digital twin ship: a data modelling perspective // Ship Technology Research, 2020. ■

Мореходность и проходимость амфибийных судов на воздушной подушке (АСВП) волн при ходе над водой или над неровностями рельефа поверхности, соответственно над сушей, обеспечиваются оснащением судна податливым гибким ограждением (ГО) области воздушной подушки (ВП) под его днищем, крепящимся по всему периметру корпуса и призванным минимизировать, с одной стороны, расходы воздуха, направляемого специальными воздухонагнетателями под днище судна в область ВП, генерирующей подъемную силу, а с другой, контакты днища корпуса судна с препятствиями на подстилающей поверхности, отклоняясь при встрече с ними, пропуская под собой их вершины. Проходимость АСВП принято характеризовать не только высотой преодолеваемых препятствий при ходе над подстилающей поверхностью [3], но и способностью преодолевать уклоны берега при выходе на сушу с использованием собственной инерции движения и тяги воздушных винтов. Последнее важное свойство АСВП зависит от гидрологической обстановки региона (углов наклона дна, параметров приливов и отливов) и характера берегового рельефа в предполагаемом районе высадки и определяется заказчиком в ТТЗ на проектирование судна в виде назначаемого угла преодолеваемого берегового уклона обычно не менее 6° . Это свойство АСВП чрезвычайно важно еще и потому, что хранение таких судов осуществляется, как правило, на специальных береговых горизонтальных площадках, куда такие суда выходят по наклонному (обычно бетонному) слипу, ведущему от площадки к урезу воды.

Настоящая работа призвана оценить характер зависимости величины преодолеваемого уклона берега (угла α) от начальной скорости хода АСВП v_0 , его силы тяжести G и характеристик двигателей (максимальной тяги T_m и угла установки лопастей воздушных винтов).

Преодоление уклона берега с очень малой скоростью движения или удержание АСВП без хода на наклонном участке берега (рис. 1) возможно при следующем условии:

$$T_m = G \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

где T_m – максимальная тяга воздушных винтов (ВВ) при парении АСВП без хода; α – угол уклона берега к горизонту.

В этом случае максимальная величина уклона берега, которую может преодолеть АСВП,

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{T_m}{G} \right). \quad (2)$$

Выход на берег сходу, используя инерцию движения АСВП при подходе

ЗАДАЧА О ВЫХОДЕ СУДНА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ НА БЕРЕГ С ПРЕОДОЛЕНИЕМ УКЛОНА

В.К. Дьяченко, *д-р техн. наук,*

Д.Е. Цыпляков, *канд. техн. наук, гл. конструктор проектов,*

АО «ЦМКБ «Алмаз»,

контакт. тел. (812) 369 1144

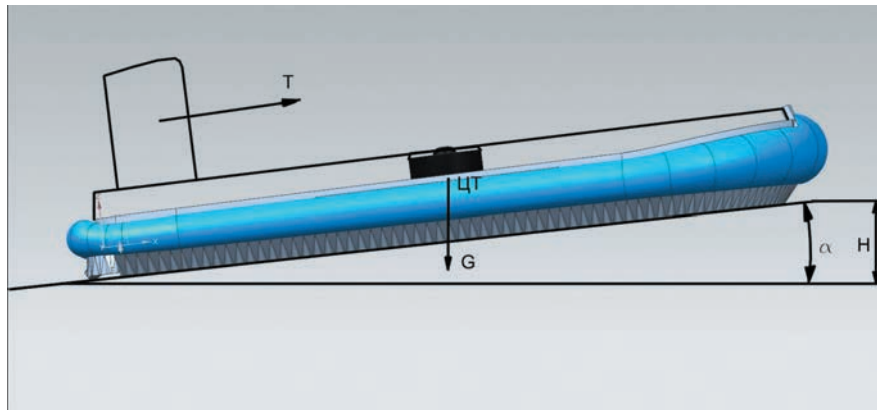


Рис. 1. Схема преодоления АСВП берегового уклона с углом α

к берегу, дает большие возможности для преодоления берегового уклона. В этом случае судоводитель может выполнить маневр выхода на берег двумя способами. В первом случае при выходе на берег угол установки шага ВВ не изменяется, остается таким же, каким был при движении над водой. Во втором случае в момент подхода АСВП к черте берега судоводитель изменяет шаг установки лопастей до величин, которая обеспечивает максимальную тягу T_m при парении АСВП на ВП без хода – см. выражение (1).

При выходе на берег с уклоном АСВП получает отрицательное ускорение и, в конце концов, остановится. В первом случае в момент остановки АСВП тяга винтов

$$T = R_0 + \left| \frac{dT}{dv} \right| \cdot v_0, \quad (3)$$

где v_0 – скорость хода судна в момент подхода к берегу, м/с; R_0 – соответствующая этой скорости величина сопротивления движению по воде, Н.

Во втором случае тяга ВВ после увеличения угла установки лопастей

$$T = R_0 + \left| \frac{dT}{dv} \right| \cdot v + \Delta T, \quad (4)$$

где $\Delta T = T_m - R_0 - \left| \frac{dT}{dv} \right| \cdot v$ (рис. 2).

Величину модуля производной $\left| \frac{dT}{dv} \right|$ можно считать постоянной, не зависящей от угла установки лопастей. В таком случае тяга винтов в момент остановки судна при выходе на берег с уклоном будет равна T_m .

Уравнение движения АСВП по берегу, имеющего уклон, имеет вид

$$M \left(\frac{dv}{dt} \right) = T - R, \quad (5)$$

где сопротивление движению над наклонным твердым экраном R определяют, исходя из известных выражений, как

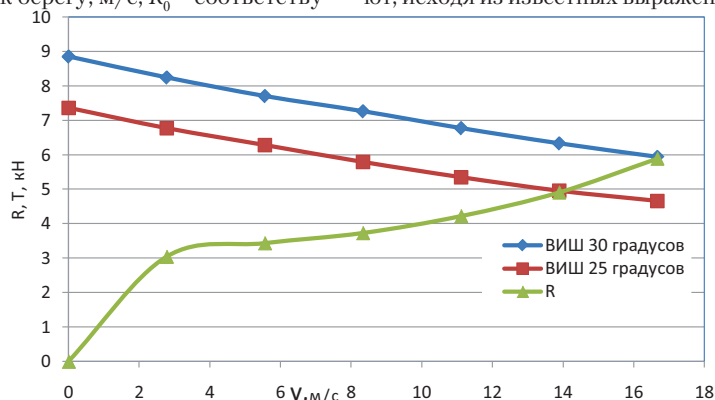


Рис. 2. Кривая сопротивления (кН) и зависимость тяги ВВ АСВП пр.12270М при различных углах установки лопастей от скорости движения (м/с)

сумму импульсного сопротивления, аэродинамического сопротивления и проекции силы тяжести [1, 2]:

$$R = \rho_a Q v + C_x \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right) S_{\infty} + G \sin \alpha, \quad (6)$$

где ρ_a – плотность воздуха, кг/м³; Q – расход воздуха в ВП, м³/с; C_x – коэффициент профильного сопротивления; S_{∞} – площадь поперечного сечения, м², а упор как

$$T = T_0 - \left| \frac{dT}{dv} \right| \cdot (v - v_0) + \Delta T. \quad (7)$$

Величина сопротивления движению по воде в момент подхода к черте берега

$$R_0 = T_0 = \rho_a Q v + C_x \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right) S_{\infty} + R_w, \quad (8)$$

где R_w – волновое сопротивление движению с учетом мелководья, Н [1].

При движении по берегу с уклоном без увеличения угла установки лопастей уравнение движения принимает вид

$$M \left(\frac{dv}{dt} \right) = \rho_a Q v_0 + C_x \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right) S_{\infty} + R_w - \left| \frac{dT}{dv} \right| \cdot (v - v_0) - \rho_a Q v - C_x \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right) S_{\infty} - G \sin \alpha. \quad (9)$$

При движении с увеличенным углом установки лопастей

$$M \left(\frac{dv}{dt} \right) = T_m - \left| \frac{dT}{dv} \right| \cdot v - \rho_a Q v - C_x \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right) S_{\infty} - G \sin \alpha. \quad (10)$$

Сгруппировав неизвестные в левой части уравнения и оставив константы в правой части, получим

$$M \left(\frac{dv}{dt} \right) + \left| \frac{dT}{dv} \right| \cdot v + \rho_a Q v + C_x \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right) S_{\infty} = \rho_a Q v_0 + C_x \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right) S_{\infty} + R_w - G \sin \alpha \quad (11)$$

или

$$M \left(\frac{dv}{dt} \right) + \left| \frac{dT}{dv} \right| \cdot v + \rho_a Q v + C_x \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right) S_{\infty} = T_m - G \sin \alpha. \quad (12)$$

Уравнения (11) и (12) являются нелинейными, так как содержат в левых

частях слагаемые, пропорциональные квадрату скорости хода – $C_x \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right) S_{\infty}$.

Приведем уравнение к линейному виду, опустив в левых частях величину аэродинамического сопротивления, поскольку эта величина быстро убывает в процессе торможения судна при движении по берегу с уклоном, кроме того, это слагаемое на два порядка меньше основной составляющей сопротивления – силы $G \sin \alpha$. Задача в целом решается в упрощенной постановке (квазистационарно), поэтому можно полагать, что указанное допущение не сильно повлияет на точность решения. По этим же соображениям при расчете величины силы сопротивления движению судна по воде не учтено остаточное сопротивление.

После линеаризации уравнения движения судна записываются в виде

$$M \left(\frac{dv}{dt} \right) + \left[\left| \frac{dT}{dv} \right| + \rho_a Q \right] v = \rho_a Q v_0 + C_x \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right) S_{\infty} + R_w + \left| \frac{dT}{dv} \right| \cdot v_0 - G \sin \alpha \quad (13)$$

или

$$M \left(\frac{dv}{dt} \right) + \left[\left| \frac{dT}{dv} \right| + \rho_a Q \right] v = T_m - G \sin \alpha. \quad (14)$$

После деления обеих частей уравнений на величину массы АСВП получим линейные уравнения, аналогичные уравнениям, рассматриваемым при решении задачи о преодолении узкой вертикальной стенки [3]:

$$\left(\frac{dv}{dt} \right) + Xv = Y, \quad (15)$$

где в случае движения без увеличения угла установки лопастей

$$Y = \left(\frac{1}{M} \right) \left[\rho_a Q v_0 + C_x \left(\frac{\rho_a v_0^2}{2} \right) S_{\infty} + R_w + \left| \frac{dT}{dv} \right| \cdot v_0 - G \sin \alpha \right]. \quad (16)$$

При движении с увеличенным углом установки лопастей

$$Y = \left(\frac{1}{M} \right) [T_m - G \sin \alpha]. \quad (17)$$

Величина X в обоих случаях одинакова и равна

$$X = \left(\frac{1}{M} \right) \left[\left| \frac{dT}{dv} \right| + \rho_a Q \right]. \quad (18)$$

Начальное условие решаемой задачи при $t = 0$

$$v = v_0.$$

Решение уравнения имеет вид, аналогичный решению задачи о преодолении вертикальной тонкой стенки:

$$v = \left(\frac{Y}{X} \right) \cdot (1 - e^{(-Xt)}) + v_0 \cdot e^{(-Xt)}. \quad (19)$$

Пройденный путь S_1 определяется интегрированием скорости v по времени t :

$$S_1 = \int_0^t v(t) dt. \quad (20)$$

Подставив под знак интеграла выражение (19) и выполнив интегрирование, получим

$$S_1 = \left(\frac{Y}{X} \right) t + (e^{(-Xt)} - 1) \left[\frac{Y}{X^2} - \frac{v_0}{X} \right]. \quad (21)$$

Остановка судна произойдет в момент времени, соответствующий условию $v_0 = 0$, т.е.

$$\left(\frac{Y}{X} \right) (1 - e^{(-Xt)}) = -v_0 \cdot e^{(-Xt)}. \quad (22)$$

После решения уравнения (22) относительно неизвестной t_1 получим

$$t_1 = \left(\frac{1}{X} \right) \ln \left[\frac{1}{(1 - v_0 X / Y)} \right]. \quad (23)$$

Подставляя величину t_1 в формулу (21), получим путь, пройденный по склону берега передней точкой ВП. Будем считать, что судно преодолело подъем по уклону берега, если в момент остановки кормовая точка ВП достигла наивысшей точки берегового уклона, т.е.

$$S_1(t_1) - L_c = \frac{H}{\sin \alpha} \quad (24)$$

или

$$H = [S_1(t_1) - L_c] \sin \alpha, \quad (25)$$

где H – высота преодолеваемого берегового уклона, м; L_c – длина воздушной подушки АСВП, м.

Относительная высота преодолеваемого берегового уклона H/h_s в долях высоты гибкого ограждения h_s равна:

$$\frac{H}{h_s} = [S_1(t_1) - L_c] \frac{\sin \alpha}{h_s}. \quad (26)$$



Рис. 3. ДКВП пр. 1206 и пр. 12061Э

Сравнительные характеристики ДКВП пр. 1206 и пр. 12061

Основные характеристики	ДКВП	
	пр. 1206	пр. 12061Э
Масса, т	117	148
Длина ВП, м	22,6	27,8
Ширина ВП, м	10,8	13,2
Высота ГО, м	1,4	1,45
Расход воздуха в ВП, м ³ /с	390	512

Для иллюстрации эффективности предложенного алгоритма ниже приводятся результаты расчета преодоления берегового уклона ДКВП (десантными катерами на воздушной подушке) пр. 1206 и пр.12061Э [4] (рис. 3), основные характеристики которых приведены в таблице.

Сравнение этих ДКВП интересно тем, что они имеют одинаковые главные газотурбинные агрегаты (ГГА) типа МТ-70, винты АВ-96 и нагнетатели В56К, но отличаются размерениями, массой и, соответственно, режимом работы нагнетательной установки.

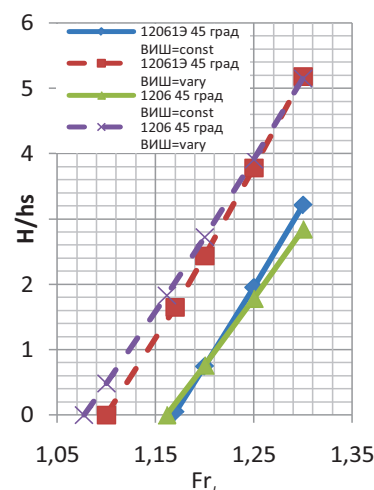
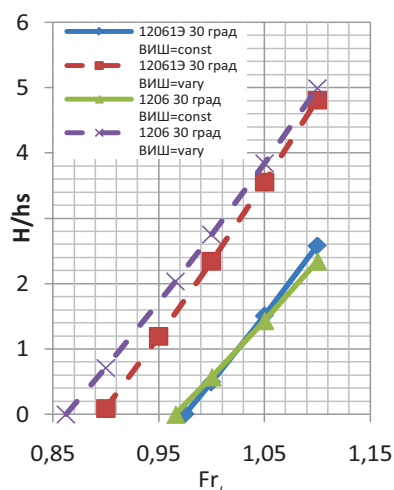
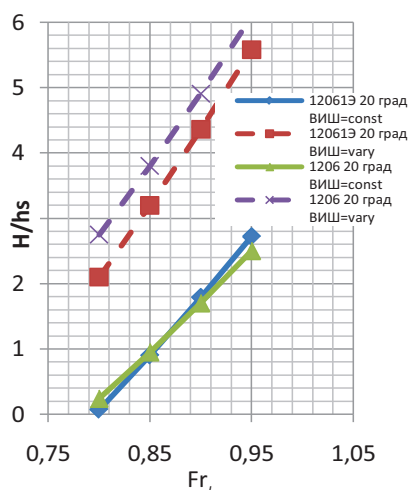


Рис. 4. Зависимости относительной высоты берега с различным уклоном (20°, 30° и 45°), преодолеваемой ДКВП пр. 1206 и пр. 12061Э, от числа Fr_1 при выполнении маневра с постоянным и изменяемым (увеличиваемым) углом установки ВИШ

Пунктирной линией на графиках рис. 4 изображены зависимости преодолеваемых высот берегового уклона без увеличения угла установки ВВ, сплошной линией - при выходе на берег с изменяемым (увеличиваемым) углом установки лопастей ВИШ.

Анализ результатов расчета, представленных на рис. 4, позволяет сделать вывод о том, что при величине угла уклона берега $\alpha = 20^\circ$ ДКВП пр. 12061Э способен преодолеть относительную высоту берегового уклона $H/h_s = 2,5$ при $Fr_1 = 0,82 - 0,94$. ДКВП пр. 1206 эту же относительную высоту берегового уклона преодолевает при более низких значениях начальной скорости хода: $Fr_1 = 0,78 - 0,95$.

При величине угла уклона берега $\alpha = 30^\circ$ относительная высота уклона $H/h_s = 2,5$ преодолевается ДКВП пр. 12061Э при $Fr_1 = 1,01 - 1,1$, ДКВП пр. 1206 при $Fr_1 = 0,99 - 1,12$.

Наконец, при величине угла уклона берега $\alpha = 45^\circ$ ДКВП пр. 12061Э преодолевает относительную высоту уклона берега $H/h_s = 2,5$ при $Fr_1 = 1,2 - 1,27$, а ДКВП пр. 1206 при $Fr_1 = 1,19 - 1,29$.

Во всех случаях при выполнении маневра с изменяемым (увеличиваемым) углом установки ВИШ ДКВП пр. 1206 преодолевает береговой уклон при более низких значениях начальной ско-

рости. Это объясняется тем, что ДКВП пр. 12061Э на 21% тяжелее ДКВП пр. 1206, следовательно, для преодо-

ления по управлению им для судоводителей при разработке его эксплуатационной документации.

ления одного и того же уклона берега ДКВП пр. 12061Э необходим больший запас количества движения, т.е. более высокая начальная скорость хода. Однако при движении с постоянным углом установки ВИШ с определенного числа Fr_1 (для уклона 20°, 30° и 45°, соответственно, 0,87, 1,02, 1,21) начинает влиять больший запас количества движения (большая масса) ДКВП пр.12061Э и относительная высота преодолеваемого уклона у него выше.

Следует заметить, что при совершении маневра по преодолению берегового уклона с увеличенным углом установки лопастей всегда возникает угроза быстрого ускорения судна после преодоления уклона и выхода судна на горизонтальный участок суши. После разгона судна до высокой скорости хода над землей справиться с управлением судном не всегда удается. В связи с этим следует иметь в виду, что использовать этот маневр может только опытный судоводитель (рис. 5).

Таким образом, представленная здесь формализация процесса преодоления берегового уклона, позволившая получить соответствующий расчетный алгоритм, дает инструмент оценки реальных амфибийных качеств АСВП уже на ранних стадиях его проектирования, а также позволяет выработать рекомен-



Рис. 5. Последствия аварии головного заказа пр. 12061Э вследствие неконтролируемого ускорения при выходе на горизонтальную стояночную площадку базы № 226 Медо, Инчхон (Юж. Корея)

ЛИТЕРАТУРА

1. Колызаев Б.А., Косоруков А.И., Литвиненко В.А. Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания. – Л.: Судостроение, 1983.
2. Yun L. and Bliault A. Theory and Design of Air Cushion Craft, 2000.
3. Дьяченко В.К., Захряпин И.А., Цымляков Д.Е. Задача о преодолении амфибийным судном на воздушной подушке твердого препятствия типа «узкой вертикальной стенки» // Морской вестник. – 2021. – №2(78). – С. 12–15.
4. <http://russianships/info>. ■

СОВМЕСТНАЯ ВИБРАЦИЯ СУДОВОГО КОРПУСА И ЕГО КОНСТРУКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ С МАЛЫМ РАЙОНОМ СОПРЯЖЕНИЯ

*А.Л.Мелкоян, канд. техн. наук, проф. СПбГМТУ,
Д.А.Николаев, канд. техн. наук,
контакт. тел. (911) 911 6425, mel1950@mail.ru, D.Nikolaevl@d-nik.de*

При желании оценить влияние каких-либо судовых конструкций или установок (надстроек, рубок, полей перекрытий, паротурбинного агрегата, главного дизеля и т.п.) на параметры общей вибрации корпуса судна с середины прошлого века применялся следующий алгоритм: корпус судна моделировался эквивалентным брусом, а присоединяемый элемент – сосредоточенной массой (жестко либо упруго опертой). Расчет выполнялся методом последовательных приближений: на первом этапе для эквивалентного бруса находилась амплитуда вибрации точки сопряжения, на втором этапе вычислялась опорная реакция, передаваемая корпусу от кинематического возбуждения присоединяемого элемента, на третьем – выполнялся расчет второго приближения вибрации эквивалентного бруса и так далее. Так, например, в работе [1] была сделана оценка влияния на общую вибрацию корпуса поля его днищевого перекрытия.

Выполненные расчеты показали не только количественное изменение параметров общей вибрации, но в некоторых диапазонах частот принципиальное изменение характера этих зависимостей.

Дальнейшая работа авторов в этом направлении позволила отказаться от организации процесса последовательных приближений за счет редукции инерционно-жесткостных характеристик модели, применяемой для судового корпуса. Так, для расчета параметров вибрации конструкций, обладающих существенно большей протяженностью вдоль некоторой оси (судовой валопровод, корпус судна и т.п.), удобно воспользоваться квазиодномерной моделью в виде последовательно соединенных однотипных конечных элементов [2, 3, 4, 6]. Особенно удобно такое представление корпуса судна на ранних стадиях его проектирования, когда еще нет полных данных о его конструкции, что затрудняет применение классического метода конечных элементов [4]. В этих работах была предложена физическая модель в виде пространственно-криволинейной упругой конструкции (ПКУК) и ее дискретного варианта – пространственно-криволинейной упругой дискретной системы (ПКУДС). Последняя представляла собой последовательность конечных элементов, соединенных обобщенными шарнирами деформаций (рис. 1).

Эти шарниры (рис. 2) допускают сдвиг в двух ортогональных (вдоль нормали n и бинормали b) и продольном (вдоль оси τ) направлениях, изгиб в двух ортогональных направлениях и кручение вокруг продольной оси элемента.

Каждый из элементов, в свою очередь, состоял из безмассового стержня заданной длины, жестко соединенного с твердым

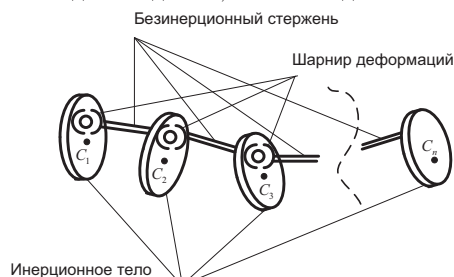


Рис. 1. Модель ПКУДС

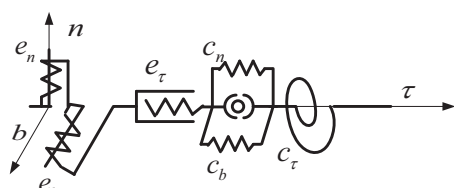


Рис. 2. Обобщенный шарнир деформаций

телом, обладающим комплексом обобщенных инерционных характеристик (в связи с тем, что центр масс S такого тела в общем случае не лежит на линии отсчета, его матрица инерционных характеристик не имеет диагональной структуры). Кроме того, каждый из элементов может опираться на шесть (по числу обобщенных перемещений) независимых упругих опор, точки крепления которых к инерционному диску могут не совпадать ни между собой, ни с линией отсчета модели. Заметим, что с учетом квазистатической аналогии [2–4], реальная опора и масса идентичны по набору упругих характеристик (но с разным знаком жесткости).

Материал модели предполагается линейно-упругим, но с введением в него неупругих сопротивлений комплексностью инерционно-жесткостных характеристик [2–4]. Ввиду малости деформаций и перемещений при вибрации задача решается в геометрически линейной постановке. В качестве основной кинематической гипотезы, позволяющей свести задачу теории упругости к задаче строительной механики, принята гипотеза плоских сечений с поправкой на сдвиг.

Внешняя динамическая нагрузка на рассматриваемую линейную модель в виде ПКУДС предполагается периодической. Она может быть представлена гармоническим рядом. Действие каждой гармоники рассматривается отдельно, а общее решение получается суперпозицией частных. Такой подход вызван тем, что величины присоединенных масс жидкости зависят от формы вынужденных колебаний рассматриваемой конструкции, которая, в свою очередь, изменяется с изменением частоты возбуждения. Приложенная внешняя нагрузка в виде сосредоточенных или распределенных сил и моментов автоматически приводится к центрам инерционных дисков элементов. Анализ параметров вибрации (рассмотрение установившихся колебаний) позволяет перейти к квазистатическому варианту модели [2–4]. В этом случае модель представляет совокупность абсолютно твердых и безынерционных элементов, соединенных между собой и неподвижным основанием упругими связями, каждая из которых порождает усилия определенной структуры (пропорциональные смещению, скорости, ускорению). При этом, как уже говорилось, характеристики жесткости могут быть комплексными величинами. В частном случае, когда частота колебаний равна нулю, имеет место статический расчет параметров деформирования квазиодномерной модели.

В случае необходимости учета некоторого дополнительного фактора, усложняющего картину установившихся колебаний квазиодномерной модели (КМ), можно применить следующий подход [5]:

- проанализировать влияние этого фактора на модель (т.е. понять структуру дополнительных усилий); при этом дополнительные усилия условно разделить на три группы:
- к первой группе отнести слагаемые, прямо пропорциональные абсолютным и (или) относительным смещениям, скоростям и ускорениям. Действие слагаемых первой группы учесть модификацией модели, введя в нее дополнительные упругие связи (напомним, что зависимость дополнительного усилия от абсолютной скорости удобнее выполнить комплексностью инерционных характеристик,

а зависимость от относительной скорости - комплексностью характеристик жесткости);

- выделить слагаемые, которые можно учесть коррекцией внешней нагрузки, прикладываемой к квазистатической модели (слагаемые второй группы);
- формализовать структуру слагаемых, учесть действие которых модификацией квазиодномерной модели не удалось (слагаемые третьей группы).

Очевидно, что при реализации такого подхода влияние слагаемых первых двух групп при расчете параметров вибрации модифицированной модели выполняется автоматически. При наличии слагаемых третьей группы следует воспользоваться методом последовательных приближений.

В предлагаемой программе расчета параметров вибрации [6] в настоящее время уже реализована опция жесткого или упругого присоединения к инерционному диску (см. рис. 1) точечной массы и (или) точечного момента инерции; при этом инерционность массы может быть разной в различных направлениях. Для иллюстрации сказанного на рис. 3 изображено жесткое присоединение к инерционному диску КМ в виде точечной массы m .

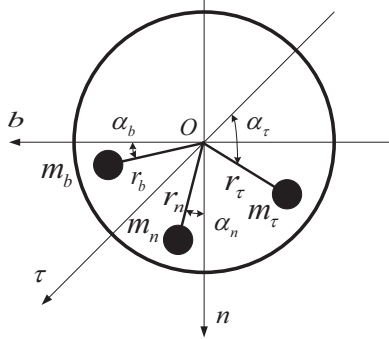


Рис. 3. Инерционный диск с дополнительными массами

Порождаемые в этом случае дополнительные усилия, являющиеся усилиями первой группы, учтены коррекцией величин инерционно-жесткостных характеристик квазиодномерной модели [3, 6] корпуса судна. Эта опция дополнительно позволяет при необходимости учесть наличие присоединенных масс жидкости, которые, как известно, различны при движении в разных направлениях.

Другой опцией программы [6] является реализация кинематического возбуждения (линейного или углового) в заданной точке квазиодномерной модели. Для этого в заданной точке устанавливается дополнительная опора, не позволяющая такой модели в этой точке смещаться во всех направлениях, кроме направления выбранного кинематического возбуждения. Технически это достигается заданием жесткостей пружин, формирующих дополнительную опору, на несколько порядков выше жесткостей других опор. Прикладывая единичное усилие ($Q_i = 1$ в случае линейного возбуждения либо $M_i = 1$ – в случае углового, $i = \tau, n, b$), вызывающее вибрацию в направлении кинематического возбуждения, по [6] получаем значения амплитуды вибрации вдоль разрешенного направления (w_i^* – в случае линейного возбуждения либо ϑ_i^* – в случае углового) и значения амплитуд опорных реакций (силы R_i^* и моменты M_i^* , где $i = \tau, n, b$). Очевидно, что кинематическое возбуждение, вызывающее единичную амплитуду линейной (угловой) вибрации, вызовет опорные реакции в w_i^* (либо в ϑ_i^*) раз меньше.

Таким образом, для организации кинематического возбуждения квазиодномерной модели с единичной амплитудой вибрации в заданной точке следует приложить к ней комплекс внешних усилий, равных и противоположно направленных рассчитанным выше опорным реакциям.

Желание рассчитать параметры совместной вибрации основной несущей конструкции (в нашем случае – корпус судна) и конструкции, присоединяемой к ней (в нашем слу-

чае – КМ) вызвало создание у [6] еще одной важной опции. Алгоритм ее реализации рассмотрим на примере решения плоской задачи о совместной вибрации судового корпуса и КМ с малым районом их сопряжения, если они оба моделируются квазиодномерными моделями.

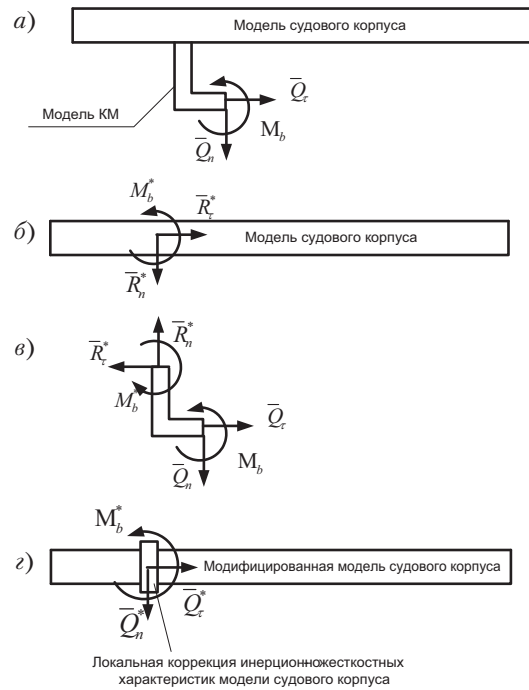


Рис. 4. Модель для совместной вибрации

При совместной вибрации (рис. 4, а) со стороны конструктивного модуля на судовой корпус должны передаваться некоторые реактивные усилия $\bar{R}^*(R_\tau^*, R_n^*)$ и M_b^* (рис. 4, б). Эти реакции могут быть представлены в виде суммы реакций, обусловленных приложением к КМ внешней нагрузки $\bar{Q}^*(Q_\tau, Q_n)$; M_b^* (на рис. 4, в эти реакции обозначены $\bar{Q}^*(Q_\tau^*, Q_n^*)$ и M_b^* , соответственно) и реакциями $\bar{R}^*(R_\tau, R_n)$ и M_b , обусловленными кинематическим возбуждением точки контакта с моделью судового корпуса, т.е.

$$\bar{R}^* = \bar{Q}^* + \bar{R}; M_b^* = M_b + M_b. \quad (1)$$

Поскольку судовой корпус для КМ является некоторой опорой, предварительно следует определить ее коэффициенты жесткости. Для этого на первом этапе к модели судового корпуса в точке сопряжения с КМ следует поочередно приложить единичные усилия ($N_\tau = 1, N_n = 1, M_b = 1$) и найти величины соответствующих смещений (w_τ, w_n, ϑ_b), имеющих место при заданной частоте вынуждающих воздействий ω . Очевидно, что вычисленные величины представляют собой динамические податливости модели судового корпуса в точке сопряжения с КМ. Жесткости соответствующих упругих связей, формирующих упругую опору для КМ в точке сопряжения, будут по отношению к податливостям обратными величинами.

Реакции $\bar{Q}^*(Q_\tau^*, Q_n^*)$ и M_b^* находятся как реакции модели КМ в точке сопряжения с моделью судового корпуса от действия на КМ гармонически изменяющейся с частотой ω внешней нагрузки $\bar{Q}^*(Q_\tau, Q_n)$ и M_b ; расчет выполняется, например, по программе из [6].

Очевидно, что найденные таким образом усилия являются для модели судового корпуса усилиями второй группы.

Теперь обсудим получение реакций $\bar{R}^*(R_\tau, R_n)$ и M_b , обусловленных кинематическим возбуждением точки контакта с моделью судового корпуса.

Зададим точке контакта линейное кинематическое возбуждение с единичной амплитудой вдоль оси τ . В результате соответствующих расчетов для модели судового корпуса получим комплект опорных реакций $R_n^*, M_{b\tau}^*$, а для модели

КМ – комплект опорных реакций R_{τ}^{**} , $M_{b\tau}^{**}$. Выполнив аналогичные расчеты для единичного линейного кинематического возбуждения вдоль оси n , получим комплекты опорных реакций для модели корпуса $R_{\tau n}^*$, M_{bn}^* и модели КМ – $R_{\tau n}^{**}$, M_{bn}^{**} . Выполнив аналогичные расчеты для единичного углового кинематического возбуждения относительно оси b , получим комплекты опорных реакций для модели корпуса $R_{\tau b}^*$, R_{nb}^* и модели КМ – $R_{\tau b}^{**}$, R_{nb}^{**} . Теперь запишем уравнения третьего закона Ньютона о равенстве сил действия и противодействия:

$$\begin{aligned} R_{\tau}^* &= w_{\tau} \cdot 0 + w_n \cdot R_{\tau n}^* + \vartheta_b \cdot R_{\tau b}^* = -R_{\tau}^{**} = -(w_{\tau} \cdot 0 + w_n \cdot R_{\tau n}^{**} + \vartheta_b \cdot R_{\tau b}^{**}); \\ R_n^* &= w_{\tau} \cdot R_{\tau n}^* + w_n \cdot 0 + \vartheta_b \cdot R_{nb}^* = -R_n^{**} = -(w_{\tau} \cdot R_{\tau n}^{**} + w_n \cdot 0 + \vartheta_b \cdot R_{nb}^{**}); \\ M_b^* &= w_{\tau} \cdot M_{b\tau}^* + w_n \cdot M_{bn}^* + \vartheta_b \cdot 0 = -M_b^{**} = -(w_{\tau} \cdot M_{b\tau}^{**} + w_n \cdot M_{bn}^{**} + \vartheta_b \cdot 0). \end{aligned} \quad (2)$$

Решение записанной системы уравнений позволяет найти для квазиодномерной модели корпуса судна амплитуды линейных и углового смещений точки сопряжения с КМ (w_{τ} , w_n , ϑ_b), а также амплитуды усилий (R_{τ} , R_n , M_b), обусловленных вибрацией точки сопряжения с КМ.

В общем случае, когда в точке сопряжения направления координатных осей несущей модели (τ^* , n^* , b^*) и КМ (τ^{**} , n^{**} , b^{**}) не совпадают, составляется матрица ориентации (матрица направляющих косинусов). Взаимную ориентацию ортов первой $O\tau^*n^*b^*$ и второй $O\tau^{**}n^{**}b^{**}$ систем осей можно задать таблицей направляющих косинусов $a_{ij} = \cos(\vec{e}_i^* \vec{e}_j^{**})$, $e = \tau, n, b$, $i, j = 1, 2, 3$:

	τ^{**}	n^{**}	b^{**}
τ^*	a_{11}	a_{12}	a_{13}
n^*	a_{21}	a_{22}	a_{23}
b^*	a_{31}	a_{32}	a_{33}

Составленную из направляющих косинусов a_{ij} матрицу A называют матрицей ориентации, или *матрицей вращения*. Например, если оси b^* и b^{**} тождественно совпадают (см. рис. 4), т.е. имеет место поворот вокруг неподвижной оси b^* на угол $\varphi = -90^\circ$ (положительное направление вращения – против часовой стрелки), эта матрица имеет вид

$$A = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Из курса высшей алгебры известно, что все матрицы вращения обладают двумя полезными свойствами:

$$\det A = 1, A^{-1} = A^T,$$

где A^{-1} – матрица, обратная A , A^T – транспонированная матрица A .

Матрицы вращения позволяют получить удобный вид записи связей между столбцами ортов координатных систем:

$$\begin{bmatrix} \tau^* \\ n^* \\ b^* \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \tau^{**} \\ n^{**} \\ b^{**} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \tau^{**} \\ n^{**} \\ b^{**} \end{bmatrix} = A^T \begin{bmatrix} \tau^* \\ n^* \\ b^* \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Аналогичные соотношения могут быть записаны для проекций любых векторов, в том числе векторов опорных реакций и смещений:

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} R_{\tau}^* \\ R_n^* \\ R_b^* \end{Bmatrix} &= -A \begin{Bmatrix} R_{\tau}^{**} \\ R_n^{**} \\ R_b^{**} \end{Bmatrix}; \quad \begin{Bmatrix} M_{\tau}^* \\ M_n^* \\ M_b^* \end{Bmatrix} &= -A \begin{Bmatrix} M_{\tau}^{**} \\ M_n^{**} \\ M_b^{**} \end{Bmatrix}; \\ \begin{Bmatrix} w_{\tau}^* \\ w_n^* \\ w_b^* \end{Bmatrix} &= A \begin{Bmatrix} w_{\tau}^{**} \\ w_n^{**} \\ w_b^{**} \end{Bmatrix}; \quad \begin{Bmatrix} \vartheta_{\tau}^* \\ \vartheta_n^* \\ \vartheta_b^* \end{Bmatrix} &= A \begin{Bmatrix} \vartheta_{\tau}^{**} \\ \vartheta_n^{**} \\ \vartheta_b^{**} \end{Bmatrix}. \end{aligned} \quad (5, a)$$

В компактной форме соотношения могут быть записаны как

$$\{R^*\} = -A\{R^{**}\}; \{M^*\} = -A\{M^{**}\}; \{w^*\} = A\{w^{**}\}; \{\vartheta^*\} = A\{\vartheta^{**}\}. \quad (5, b)$$

Теперь учтем запись в матричной форме соотношений между проекциями усилий и смещений:

$$\begin{aligned} \{R^*\} &= \{w^*\} [C1^*] + \{\vartheta^*\} [K1^*] = -A\{R^{**}\} = \\ &= -A(\{w^{**}\} [C1^{**}] + \{\vartheta^{**}\} [K1^{**}]) = \\ &= -A(A^T \{w^*\} [C1^{**}] + A^T \{\vartheta^*\} [K1^{**}]); \\ \{M^*\} &= \{w^*\} [C2^*] + \{\vartheta^*\} [K2^*] = -A\{M^{**}\} = \\ &= -A(\{w^{**}\} [C2^{**}] + \{\vartheta^{**}\} [K2^{**}]) = \\ &= -A(A^T \{w^*\} [C2^{**}] + A^T \{\vartheta^*\} [K2^{**}]) \end{aligned} \quad (6)$$

где элементы квадратных матриц $[C1^*]$, $[C2^*]$, $[K1^*]$, $[K2^*]$ есть величины опорных реакций в точке сопряжения для несущей модели при соответствующих кинематических возбуждениях с единичной амплитудой, а элементы квадратных матриц $[C1^{**}]$, $[C2^{**}]$, $[K1^{**}]$, $[K2^{**}]$ – для модели КМ.

Соотношения (6) дают условия равенства усилий действия и противодействия для общего случая. Естественно, что эта запись будет существенно более громоздкой, чем (2), однако она позволяет рассчитывать для квазиодномерной модели корпуса судна амплитуды линейных и угловых смещений точки сопряжения с КМ, а также амплитуды усилий, обусловленных вибрацией точки сопряжения с КМ.

Для частного случая сопряжения, изображенного на рис. 4, будем иметь

$$\begin{Bmatrix} R_{\tau}^* \\ R_n^* \end{Bmatrix} = A \begin{Bmatrix} R_{\tau}^{**} \\ R_n^{**} \end{Bmatrix}; \quad M_b^* = M_b^{**}; \quad \begin{Bmatrix} w_{\tau}^* \\ w_n^* \end{Bmatrix} = A \begin{Bmatrix} w_{\tau}^{**} \\ w_n^{**} \end{Bmatrix}; \quad \vartheta_b^* = \vartheta_b^{**},$$

$$\text{где } A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Окончательный расчет совместной вибрации выполняется для квазиодномерной модели судового корпуса по [6] с учетом приложения в точка сопряжения двух комплектов дополнительных усилий. Первый из них обусловлен приложенными к КМ внешними усилиями (\bar{Q} (Q_{τ}^* , Q_n^*) и M_b^*), а второй (R_{τ} , R_n , M_b) – усилиями инерционной природы. Очевидно, что при отсутствии внешней нагрузки, действующей на КМ, усилия первого комплекта будут отсутствовать.

Желание избежать решения системы совместных уравнений и получить более общую КМ привело авторов к разработке следующего варианта алгоритма расчета. Суть варианта – в модификации инерционно-жесткостных свойств квазиодномерной модели (т.е. оснащении модели дополнительными, ранее не присущими ей, свойствами). У такой модели дополнительные инерционные усилия, обусловленные наличием КМ, в процессе ее колебаний должны создаваться автоматически. Алгоритм такого учета изложен в [5]. Получаемая в этом случае квазиодномерная модель (см. рис. 4, в) обладает более широким набором инерционно-жесткостных характеристик, чем модель из [6], за счет чего может быть применена при решении более широкого класса задач о расчете параметров установившихся колебаний. В настоящее время соответствующая программа, являющаяся дальнейшим обобщением [6], находится в стадии разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чувиковский В.С., Мелкоян А.Л. Совместная вынужденная вибрация судового корпуса и его перекрытий // Судостроение. – 1986. – №8. – С. 5-6.
2. Чувиковский В.С. Численные методы расчетов в строительной механике корабля. – Л.: Судостроение, 1976.
3. Мелкоян А.Л., Николаев Д.А. Квазиодномерные модели для анализа параметров вибрации судового корпуса на ранних стадиях его проектирования. – СПб.: Моринтех. – 2019. – №2(44). – Т.1. – С.45–51.
4. Александров В.Л., Матлах А.П., Поляков В.И. Борьба с вибрацией на судах. – СПб.: Мор Вест, 2005.
5. Мелкоян А.Л., Николаев Д.А. Модификация инерционно-жесткостных характеристик модели как путь решения задач о ее установившихся колебаниях. – СПб.: Моринтех, 2020. – №1(47). – Т.3. – С.12–19.
6. PC-Welt (Эффективное решение. Расчет изогнутых балок и рам.). – <http://www.d-nik.de>, 20.04.2020. ■

Вечером 30 мая 2021 г. на 56-м году жизни перестало биться сердце Геннадия Вячеславовича Егорова, создателя и владельца «Морского Инженерного Бюро», его идеолога и вдохновителя, просто замечательного, доброго и умного человека. Человека, который никогда не отказывал в помощи любому, который всегда поддерживал начинающие сотрудники бюро, молодых специалистов.

Г. В. Егоров родился 23 марта 1966 г. в Одессе. В 1982 г. окончил с отличием школу. В 1988 г. с «красным» дипломом завершил обучение в Одесском институте инженеров морского флота (ОИИМФ) по специальности «Судостроение и судоремонт», в 1992 г. закончил аспирантуру института на кафедре «Строительная механика корабля».

С 1993 по 1995 г. работал старшим научным сотрудником, преподавателем кафедры «Строительная механика корабля» в ОИИМФ.

В 1993 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка методов оптимизации прочностных решений при эксплуатации судов». В 1995 г. учредил «Морское Инженерное Бюро» в Одессе, а в марте 2000 г. – аналогичную фирму в Санкт-Петербурге и возглавлял оба предприятия до последних дней своей жизни.

В 2005 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Методология обеспечения надежности и безопасности корпусов судов ограниченных районов плавания».

В 2008 г. стал профессором кафедры теории и проектирования судов Национального университета кораблестроения (г. Николаев).

Г. В. Егоров был генеральным директором «Морского Инженерного Бюро», который в марте 2020 г. отметило 25-летний юбилей. Под управлением Геннадия Вячеславовича бюро прошло путь от небольшой фирмы, занимающейся исключительно расчетными задачами по корпусу судна и научными исследованиями по заказу классификационных обществ, до организации, выполняющей практически весь спектр инжиниринговых работ для судоходства и судостроения. По проектам бюро было построено более 410 судов.

ПАМЯТИ Г.В. ЕГОРОВА

ООО «Морское Инженерное Бюро – СПб»,
контакт. тел. (812) 233 6403, 232 8538



Геннадий Вячеславович Егоров

Под руководством Г. В. Егорова выполнено огромное количество разнообразных проектов переоборудования, конверсий, модернизаций судов, обоснований, расчетов, научно-исследовательских работ. Проведено множество уроков, семинаров, вебинаров. Им подготовлено, написано и опубликовано лично и в соавторстве более 1000 научных трудов, в том числе шесть монографий, среди которых – «Опыт строительства судов с использованием элементов эксплуатировавшегося флота» (в соавторстве), «Проектирование и постройка коастров и судов смешанного плавания», «Создание универсальных транспортных судов и средств океанотехники» (в соавторстве), «Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска», «Либерти» – значит свобода» и многие др.

В 2020 г. Геннадий Вячеславович оказал расчетную инженерную поддержку специалистам, которые проводили сложнейшую операцию по подъему и утилизации танкера «Делфи», загрязнявшего одесское побережье.

Деятельность доктора технических наук, профессора Г. В. Егорова, академика Академии наук судостроения и Транспортной академии Украины, его научные работы были отмечены в нашей стране и за рубежом. Ему было присвоено звание Почетного члена Британского Королевского общества корабельных инженеров, он был членом Американского общества кораблестроителей и морских инженеров, Международного Конгресса по конструкции корпусов судов и морских сооружений.

В нашей стране он входил в состав президиумов НТС Российского морского регистра судоходства и НТС Российского речного регистра, в том числе и потому, что много внимания уделял развитию и модернизации речного флота страны. Как компетентный специалист входил в состав экспертного совета ВАК Украины. Сотрудничал с журналами «Судостроение» и «Морской вестник».

Был членом НТС Регистра судоходства Украины. За научные работы в области судостроения Г. В. Егорову в 2011 г. была присуждена Государственная премия этой страны за создание нового поколения универсальных транспортных судов и средств океанотехники.

Награжден различными наградами, знаком «За заслуги» Российского морского регистра судоходства, знаком «Почетный работник Российского речного регистра» и знаком «Почетный работник Регистра судоходства Украины».

Коллектив «Морского Инженерного Бюро» в своей работе будет стремиться держать заданную Геннадием Вячеславовичем планку и выполнять стоящие перед ним задачи на столь же высоком уровне. Память о Г. В. Егорове останется навсегда

Редсовет, редакционная коллегия и редакция журнала «Морской вестник» выражают соболезнование семье и друзьям Геннадия Вячеславовича Егорова.



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

Очистка поверхности – одна из базовых технологий во многих отраслях промышленности. Для некоторых видов производств – сварочного, лакокрасочного, гальванического – очистка поверхности является актуальнейшим вопросом, так как высокое качество очистки поверхности гарантирует высокий ресурс и надежность работы различных изделий.

В настоящее время в машиностроении, в том числе на металлургических, сталепрокатных, вагоно- и судостроительных заводах, для очистки изделий используются в основном традиционные способы: кислотно-щелочное травление, пескоструйный и дробеструйный (дробеметный), а также механическая очистка абразивным, щеточным и фрезерным инструментом, промывка водой с техническими моющими средствами, острым паром. Перечисленные способы нельзя признать экологически чистыми, универсальными и отвечающими современным требованиям государственных органов надзора в области безопасности жизнедеятельности и окружающей среды. Кроме того, недостатком всех перечисленных методов очистки поверхности металла, помимо недостаточного качества, значительного расхода технически моющего средства и воды, вредных выбросов паров, является и то, что изделия после очистки вскоре начинают опять интенсивно корродировать в водной среде и в атмосфере влажного воздуха. Эта проблема особенно остро стоит в судостроении, в частности, при подготовке поверхностей металлических изделий, непосредственно соприкасающихся с морской водой, например, при подготовке поверхности листов обшивки подводных лодок перед нанесением специальных покрытий в целях предупреждения их отслоения и отрыва в процессе эксплуатации, при очистке обшивки кораблей и внутренней поверхности балластных цистерн от коррозии и от обрастания ракообразными микроорганизмами и т. д. Поэтому предлагается рассмотреть альтернативные методы очистки ответственных узлов и деталей оборудования, основанных на более совершенных принципах работы.

АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ

Непрерывный процесс совершенствования и создания новых приборов и машин зачастую связан с необходимостью повышения качества поверхностного слоя деталей. Эта задача может решаться за счет использования различных способов очистки, совершенство-

ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Р.А. Сахаров, канд. техн. наук,
инженер-конструктор 1-й категории ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. (812) 640 1051*

вания существующих или разработки новых технологических методов. Как известно, ресурс работы деталей машин и механизмов во многом зависит от качества поверхностного слоя.

Криогенный бластинг – процесс очистки, заключающийся в обработке поверхности детали тысячами гранул льда, посылаемых пушкой высокого давления на деталь, мгновенно понижающих поверхностную температуру. Температура частиц сухого льда, состоящих из замороженного диоксида углерода (CO_2), значительно ниже, чем обрабатываемой поверхности, и составляет -79°C . В результате термического шока любые поверхностные загрязнения утрачивают прочность прилегания к металлу и легко отслаиваются под ударами следующих ледяных частиц. Скачкообразное нарастание температурного градиента приводит к резкой потере адгезии между загрязнителем и металлической поверхностью, поскольку их коэффициенты линейного расширения различны. Охлаждаются лишь поверхностные слои объектов из металла, снижения механической прочности их общей конструкции при этом не происходит [1].

Ультразвуковая очистка – способ очистки поверхности твердых тел, при котором в моющий раствор вводятся ультразвуковые колебания. Введение ультразвука позволяет не только ускорить процесс очистки, но и достичь высокой степени чистоты поверхности, а также заменить ручной труд, исключить пожароопасные и токсичные растворители. Ультразвуковая очистка применяется в машиностроительной, металлургической, электронной промышленности, в полупроводниковой технике и в приборостроении для очистки прецизионных деталей точных приборов, часов и ювелирных изделий, интегральных схем, хирургических инструментов, металлокерамических фильтров, металлургического проката и др.

Лазерная очистка деталей заключается в обработке их поверхности лазерным излучением, сфокусированным при помощи специальной оптической системы. Физические процессы, происходящие на поверхности, отличаются-

ся большим разнообразием и зависят от плотности и мощности лазерного излучения на поверхности. Процессы лазерного нагревания, испарения и абляции материала с образованием плазмы, а также быстрое тепловое расширение и возникновение ударных волн лежат в основе механизмов лазерной очистки.

Плазменная очистка – способ очистки, заключающийся в обработке поверхности детали высоко- или низкотемпературной плазмой, электродуговым или струйным методом. Так же, как и лазерная очистка, обладает следующими преимуществами: универсальность применения (резка, сварка и т. п. технологические операции), локальность обработки, высокая производительность.

Лазерно-плазменная обработка заключается в создании лазерным излучением ионизационных эффектов, т. е. плазмы, что позволяет управлять технологической наследственностью поверхности и поверхностного слоя и полностью устраняет многие наследственные дефекты структуры. Ниже перечислены некоторые разрабатываемые лазерно-плазменные технологии:

- лазерно-плазменная очистка поверхности от окалины, ржавчины, оксидов, органических и неорганических загрязнений;
- лазерно-плазменное рафинирование поверхностного слоя от серы, фосфора, O_2 , N_2 , H_2 и т. д.;
- лазерно-плазменное устранение дефектов в поверхностном слое [2].

По мнению автора, наиболее перспективными технологиями очистки являются лазерная и плазменная. Причем каждая из них имеет свою уникальную область применения. Для целей судостроения предпочтительнее использовать плазменные технологии очистки по причине больших объемов и площадей обработки и существенной дешевизны оборудования для очистки, а также простотой его обслуживания по сравнению с лазерной технологией. Лазерно-плазменные технологии сегодня требуют дополнительных дорогостоящих исследований, в то время как режимы работы лазерных и плазменных технологий уже достаточно изучены.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Основная задача совершенствования технологической операции очистки с помощью технологии плазменной обработки – ускорение процесса очистки и получение достаточно высокой степени очистки: по [3] – не ниже Sa2 ½, Sa3 согласно международному стандарту [4], с экологически чистыми отходами (CO₂, H₂O и различные аэрозоли).

Эта задача решается разработкой различных автоматизированных (роботизированных) линий, стационарных и мобильных установок, в основу которых заложены всевозможные плазменные эффекты – электрофизикохимическая обработка химически активной низкотемпературной (холодной) плазмой атмосферного (или низкого) давления, скоростное химико-термическое взаимодействие, плазменные газификации и пр.

Совершенствование плазменных технологий заключается в создании особых условий образования и поддержания плазменных эффектов путем разработки источника питания с особыми характеристиками и гибких поточных роботизированных линий, единичных установок, модификации самого плазмотрона, успешно разработанных и реализованных на производстве ООО «Инновационно-промышленный центр плазменных технологий» и уже внед-

ренных на предприятиях ОАО «РЖД» (рис. 1).

Однако в судостроения и судоремонте тоже есть необходимость в подобной технологии, так как эксплуатация металлических конструкций судов и кораблей происходит в основном в условиях агрессивной морской среды или соляного тумана. Например, это особенно актуально при обеззараживании и очистке цистерн и трубопроводов в системах управления балластными водами, очистки трубных систем нагревательных батарей от накипи, опреснительных установок, теплообменных аппаратов, применяемых на кораблях и судах, а также штоков рулевых машин и другого оборудования.

Поэтому предлагается реализовать плазмохимическую обработку металлов в следующих технологических операциях, актуальных для судостроения:

1. Очистка (подготовка) поверхности с последующей хорошей адгезией и длительной коррозионной стойкостью металла как без покрытия, так и с последующими упрочняющими, гальваническими, лакокрасочными, резиновыми покрытиями.
2. Удаление покрытий и изоляций либо перед их нанесением на тщательно подготовленную поверхность.
3. Обезжиривание, обессмоливание.
4. Термообработка (термоупрочнение, диффузионное насыщение металлов).
5. Подготовка различных поверхностей контакта пар либо склеивани-

ем с высоким качеством различных трудно склеиваемых материалов, либо «металл–резина», либо «эластомер–сталь» с существенным изменением коэффициента трения различных материалов и обеспечением их плотного прилегания.

6. Сварка, наплавка и плазменно-дуговая термическая резка.

7. Нанесение антикоррозионно-стойких защитных неорганических (неметаллических, металлических, гальванических) и органических (лакокрасочных) покрытий.

Установки плазменных технологий – универсальные, быстро переналаживаемые и компактные. В процессе обработки образуются газифицированные и диссоциированные отходы. При очистке металлоизделий от коррозии оксиды восстанавливаются до чистых металлов, а при очистке от различных загрязнений отходами являются углекислый газ, водяной пар и аэрозоли в малом количестве, т. е. отходами плазменной очистки являются не окалина и ржавчина, а безвредные газифицированные CO₂ и H₂O. Аэрозоли с потоком воздуха удаляются от места очистки и улавливаются газовыми фильтрами, которые периодически заменяются или очищаются.

При технологии очистки плазмой не происходит попадания частиц и водяных паров в воздушное пространство, что улучшает производственные условия и окружающую среду. Поэтому плазменные комплексы (установки, машины) не имеют вредных выбросов в окружающую атмосферу и им не требуются:

- очистные сооружения и связанные с ними расходы;
- устройства специальных фундаментов, расходы на их изготовление и содержание;
- расход воды и каких-либо химических средств.

С помощью таких плазменных установок можно очистить металлическую поверхность от любых загрязнений с чистотой на атомарном уровне. Поверхность приобретает высокую антикоррозионную и адгезионную способность, она пригодна для нанесения на нее любых защитных, в том числе лакокрасочных покрытий (не требуется дополнительная подготовка поверхности).

Очищенная поверхность (рис. 2) приобретает высокую адгезионную способность ко всем существующим на сегодня защитным покрытиям (органическим лакокрасочным или неорганическим металлическим и неметаллическим). Опыт работы показал, что адгезия к защитным покрытиям возрастает более чем в пять раз по сравнению со всеми существующими способами очистки и временем не ограничена. Сама техно-



Рис. 1. Специальная установка плазменной очистки перед операцией наплавки в экспериментальном депо ОАО «РЖД» (а–z)

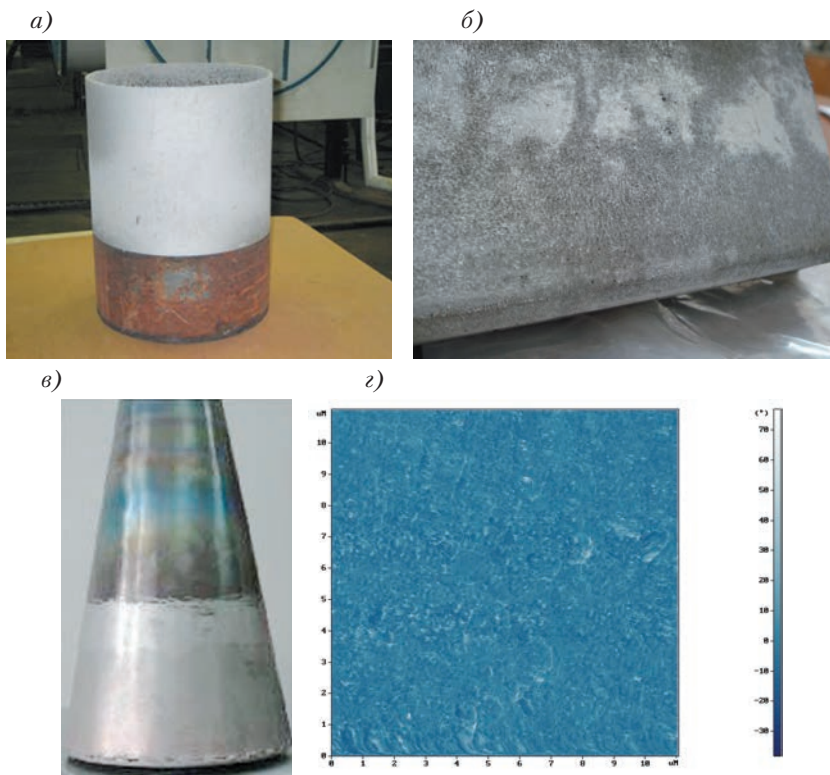


Рис. 2. Примеры очищенных поверхностей методом холодной плазмы (а, б, в); морфология поверхности очищенного изделия (г)

логическая операция очистки занимает очень малый промежуток времени, что в 12–15 раз быстрее по сравнению с другими традиционными способами очистки.

ОБЩИЙ ПРИНЦИП РАБОТЫ

Принцип работы разрабатываемых плазменных комплексов – машин, установок и плазменного инструментария для обработки (очистки) металлов, поверхностей металлоизделий от любых видов загрязнений – заключается во взаимодействии низкотемпературной плазмы атмосферного/низкого давления с поверхностью обрабатываемого изделия.

При этом любые загрязнения на поверхности газифицируются, диссоциируют и испаряются в окружающем пространстве, где происходят их фильтрация, общий сбор или сбор с разделением по фракциям и дальнейшее использование по назначению.

После плазменной очистки на поверхности изделия образуется слой чистого железа, который не подвержен коррозии, что дает возможность в дальнейшем использовать такие изделия без последующего покрытия.

При обработке низкотемпературной плазмой атмосферного давления в качестве плазмообразующих (транспортирующих) газов применяется сжатый воздух.

При обработке холодной плазмой низкого давления во избежание дымообразования процесс очистки происходит в

замкнутом пространстве (вакуумной камере) с применением в качестве плазмообразующих рабочих тел инертных газов.

В процессе научной работы были реализованы возможности управления технологическими процессами очистки, что позволило восполнять дефектные места литых, штампованных изделий за счет имплантированных обратно на очищенную поверхность металлов из оксидов. Атомы металлов при этом образуют тонкие, в несколько атомных слоев, пленки. В случае очистки стали холодной плазмой – это пленки чистого железа, которые после очистки изделия в дальнейшем на годы защищают поверхность изделия от коррозии даже в атмосфере влажного воздуха.

СТРУКТУРА И СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ

В состав каждой единицы предлагаемой продукции входят разнообразные комплексные плазмообразующие установки с возможностью их различного применения:

- плазменный модуль (плазмотрон, генератор плазмы);
- источники питания плазмы с КПД 100 % (блок-модуль с электротехникой и электроникой) собственной разработки;
- блок охлаждения;
- компрессор;
- трубопроводы и магистральные связи (электрика, воздух, вода оборотная замкнутого цикла, газы);
- программный продукт, АСУ;

- робот-манипулятор;
- либо рамно-портальные конструкции на плазмотрон (на атмосфере);
- либо вакуумные из трех-четырех отсеков камеры и двух-трех насосов с вакуумной техникой;
- техника КИП, приборы контроля.

ВЛИЯНИЕ НА ПОВЕРХНОСТЬ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ

В процессе происходит нагрев поверхности всего лишь до температуры 50–80 °С. Несмотря на высокую (до 20 000 °С и выше) температуру компонентов плазмы, незначительный нагрев изделий объясняется низкой концентрацией частиц в плазме, которая ниже в 1000 раз по сравнению с концентрацией частиц в атмосферном воздухе.

Проведены исследования в области технологии металлов в лаборатории ПГУПС на кафедре «Технология металлов» Санкт-Петербурга по определению химического состава, микроструктуры, шероховатости поверхностного слоя и измерению твердости с целью сравнения характеристик образцов (твердость, шероховатость поверхности, микроструктура) до и после плазменной очистки на соответствие. Отбор проб образцов осуществлялся с поверхности конкретного изделия (колесной пары, буксового узла).

Исследованная сталь для цельнокатаного колеса по химическому составу соответствует марке 2 ГОСТ 10791–2011. Результаты химического анализа показали, что в результате плазменной очистки поверхности колеса химический состав стали изменился в пределах допускаемой погрешности по данному ГОСТ 1.

Микроструктура представленных образцов феррито-перлитная. Соотношение феррита и перлита соответствует стали марки 25Л ГОСТ 977–88. Различия в микроструктуре до и после плазменной очистки не зафиксированы (рис. 3) [5–8].

ЭНЕРГОЗАТРАТЫ

По ориентировочным техническим данным энергетические затраты составят примерно 0,2–2 кВт·ч/м². Время обработки – минимальное, исчисляемое в секундах. Общее время цикла очистки низкотемпературной плазмой железнодорожной вагонной тележки составило примерно 16 минут, а традиционными способами оно составило бы около 4 часов.

Срок окупаемости любого плазменного оборудования составит менее двух лет.

РАЗРАБОТАННОЕ И ПРЕДЛАГАЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И КОМПЛЕКСЫ

Перечень:

- установка полуавтоматическая с низкотемпературной плазмой атмосферного давления с ЧПУ для ста-

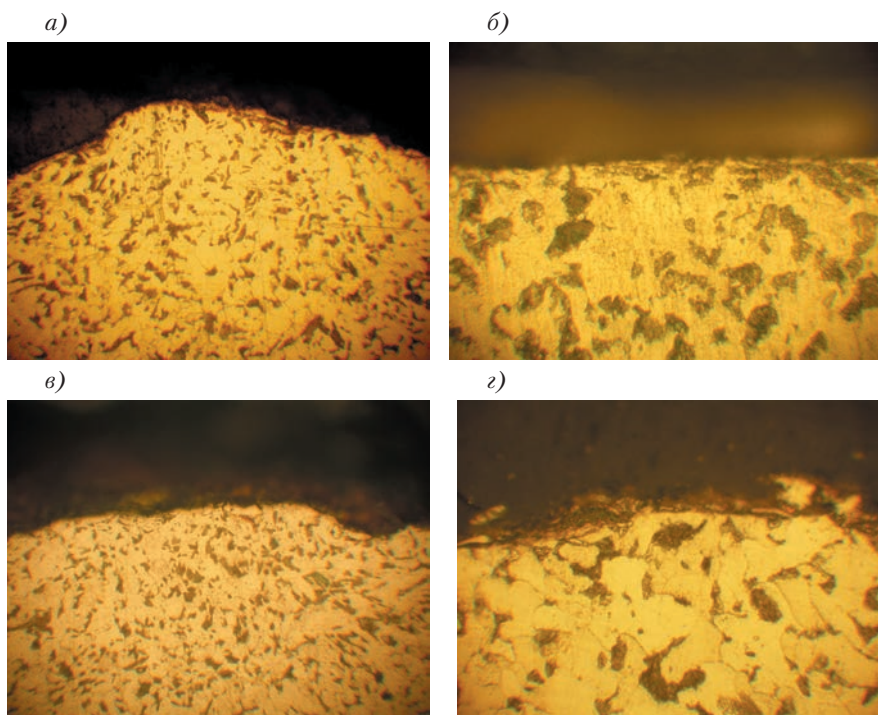


Рис. 3. Микроструктура образцов колесной стали до (а, б) и после обработки методом холодной плазмы (в, г)

- циюнарной и мобильной высокопроизводительной и качественной обработки металлов при изготовлении (ремонте) машиностроительной, электротехнической, строительной и прочей продукции (материалов, полуфабрикатов, конструкций и т. д.);
- установка стационарная роботизированная с низкотемпературной плазмой атмосферного давления с АСУ, полностью автоматизированная, безлюдная, для высокопроизводительной и качественной обработки при изготовлении (ремонте) машиностроительной, электротехнической, строительной и прочей продукции (материалов, полуфабрикатов, конструкций и т. д.);
- машина стационарная с холодной плазмой низкого давления с ЧПУ для высокопроизводительной и качественной обработки при изготовлении (ремонте) машиностроительной, электротехнической, строительной и прочей продукции (материалов, полуфабрикатов, конструкций и т. д.);

- товлении (ремонте) машиностроительной, электротехнической, строительной и прочей продукции (материалов, полуфабрикатов и т. п.);
 - машина стационарная роботизированная с холодной плазмой низкого давления с АСУ, полностью автоматизированная, безлюдная, для высокопроизводительной и качественной обработки при изготовлении (ремонте) машиностроительной, электротехнической, строительной и прочей продукции (материалов, полуфабрикатов, конструкций и т. д.);
 - комплекс различных технологий обработки с использованием индивидуальных потребностей и пожеланий заказчика, а также прочих возможностей плазменных технологий.
- Автором разработан и предлагается для использования модернизированный и усовершенствованный автоматизиро-

ванный комплекс для очистки низкотемпературной плазмой котлов цистерн различного назначения, работа которого основана на очистке в среде низкого вакуума, с пневмоотсосом продуктов распада (отходов).

Задача установки – ускорение процесса очистки, который включает в себя одновременно дегазацию и контроль на герметичность, и получение достаточно высокой степени очистки: по [3] – не ниже Sa2 ½ или Sa3 согласно международному стандарту [4], с экологически чистыми отходами (CO₂, H₂O и различные аэрозоли) [9].

Технический результат достигается тем, что установка очистки содержит источник питания и сжатого воздуха, пульт управления очисткой, куда входят: блок подачи воздушной смеси и газов, блок вентиляции источника, блок электрических аппаратов, блок системы поджига (осциллятор) и поддержания стабильности (инвертор), блок охлаждения, блок контроля на герметичность, на неисправность, блок отходов, пневмозатвор, система подводящих труб и вентиляей, система пневмонасосов и датчиков давления для поддержания низкого вакуума, система плазмотронов для работы в вакуумной газовой среде и в атмосфере (воздухе), обратный клапан, система очистительных фильтров (осушитель), 3-секционная камера для сорбции отходов с системой контроля на биоксины, система электромагнитов, рамка с роботом-манипулятором для наружной очистки.

Принципиальная схема очистительной установки представлена на рис. 4.

Принцип работы установки для внутренней очистки вагонов-цистерн:

1. Подключение к общей сети 220/380В с частотой 50 Гц.
2. Пусконаладка оборудования, команда «ПНЕВМОЗАТВОР».
3. Команда «ВНУТР.ОЧИСТКА»/«НАРУЖН.ОЧИСТКА».

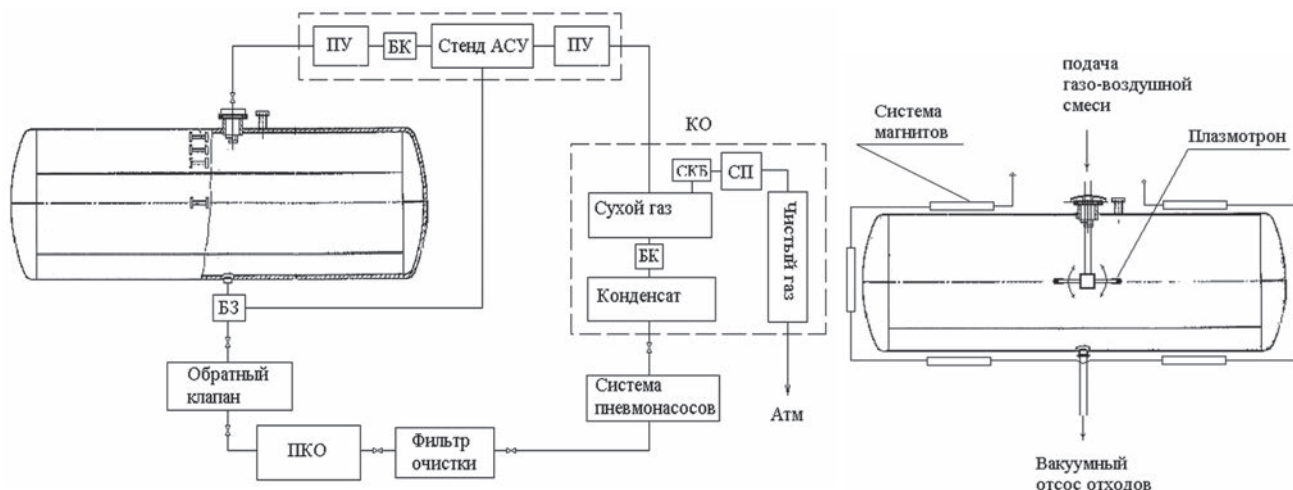


Рис. 4. Принципиальная схема очистительной установки

4. Команда «ПУСК», в том числе по созданию низкого вакуума и/или начала самого процесса очистки в автоматическом режиме.

5. По программе «КОНЕЦ ОЧИСТКИ».

6. Команда «КОНТРОЛЬ» для определения недостатков и возврат к ним для повторной очистки.

7. Команда «КОНЕЦ».

Предполагаемые технические характеристики плазмообразующего комплекса представлены ниже:

Предполагаемые технические характеристики

Наименование	Значение
Энергозатраты, кВт/ч.....	15
Скорость очистки, м/с.....	0,1
КПД, %.....	99
Сила тока I , А.....	50 – 100
Напряжение U , В.....	60 – 80
Окупаемость, мес.....	8 – 18
Общее время очистки, ч.....	3

Совместно с кафедрой ПГУПС «Технология металлов», химической лабораторией, Технологическим институтом в Санкт-Петербурге, ЗАО «Петроплазма», Институтом плазмы в Томске проведены исследования метода очистки низкотемпературной холодной (НТХ) плазмой с целью определения физико-химических свойств поверхности, технологии металлов, технологии ремонта, газовой химии, надежности, отходов производства, технологических режимов, термоионизации, НТХ плазмы, охраны труда. Результаты этих исследований были приняты на высшем уровне ОАО «РЖД» и Правительством РФ, которое включило эти разработки в Международную программу защиты окружающей среды.

Выяснилось, например, что плазма в каждом конкретном случае ведет себя по-разному и зависит от конкретных технологических режимов, которые нужно подбирать. Но самое интересное, что работа газовой плазмы описывается уравнением состояния идеального газа Менделеева – Клайперона

$$p \cdot V = \frac{m}{M} R \cdot T. \quad (1)$$

Нас интересует изотермический процесс (Бойля–Мариотта), в котором давление данной массы газа при изотермическом процессе зависит от объема обратно, т. е. имеем гиперболу (рис. 5).

Это дает нам возможность просчитать необходимое давление для внутренней очистки котлов цистерн различного назначения, которое будет удовлетво-

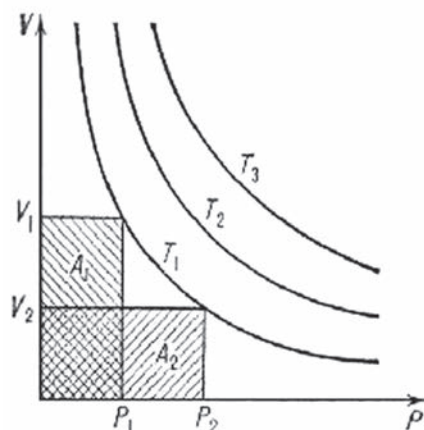


Рис. 5. Зависимость давления газа от объема в замкнутом пространстве

рять нормативным требованиям, а также время и работу, которую совершает установка за полный цикл очистки. Поэтому применение низкотемпературной холодной плазмы в технологии ремонта в различных технологических операциях с целью повышения безотказности, надежности и долговечности изделий возможно и даже необходимо.

ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих традиционных методов очистки металлических изделий позволил выявить следующие недостатки: некачественная очистка поверхности металла и скорое ее корродирование во влажной среде, также большой расход электроэнергии, технически моющих средств и воды, наличие вредных выбросов.

2. Очистка поверхности металлических изделий при помощи технологии плазменной обработки позволяет сократить энергопотребление, ускорить процесс очистки поверхности металлических изделий и получить достаточно высокую степень очистки с экологически чистыми отходами (CO_2 , H_2O и различные аэрозоли).

3. Нагрев поверхности металлических изделий в процессе плазменной обработки не достигает 100°C , что не вызывает существенных изменений в структуре обрабатываемого металла.

4. Обработка поверхностей металлических изделий при помощи предлагаемой технологии плазменной обработки повышает период между очистками за счет достижения ее более высокой степени, что защищает изделия от коррозии как в атмосфере влажного воздуха, так и в воде.

5. Поверхность металлических изделий за счет активации плазмой при-

обретает высокую адгезионную способность ко всем существующим на сегодня защитным покрытиям (металлическим, полимерным, резиновым). Эксперименты показали, что адгезия к защитным покрытиям возрастает в пять раз и более по сравнению со всеми существующими способами очистки, а это повышение гарантии того, что защитное покрытие не будет отслаиваться, и изделие не будет разрушаться под действием коррозии.

6. Результаты представленных научных исследований в области плазменных технологий и разработанные установки для плазменной обработки в настоящее время находятся на стадии оформления прав интеллектуальной собственности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бластинг: гид по высокоэффективной абразивоструйной очистке. – Екатеринбург: ООО ИД «Оригами». – 2007. – С. 216.
2. Вейко В.П., Смирнов В.Н., Чирков А.М., Шахно Е.А. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении. – СПб: НИУ ИТМО. – 2013. – С. 103.
3. ГОСТ 9.402–2004. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию. – М.: Стандартиформ. – 2006. – С. 43.
4. ISO 12944 Лаки и краски. Антикоррозийная защита стальных конструкций от коррозии при помощи защитных систем красок.
5. Сахаров Р.А., Дмитриева Т.С. Разработка технологии плазменной очистки котлов железнодорожных цистерн. – Мат-лы 14-й Международ. науч.-практ.конфер. «Технология упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика». 17–20 апреля 2012 г., ч. 2, с. 425 – 427.
6. Сахаров Р.А. Энергетические аспекты обработки профиля поверхности катания вагонных колесных пар. – Мат-лы 16-й Международ. науч.-практ.конфер. «Технология упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика», 7–20 апреля 2014, ч. 1, с. 277 – 284.
7. Сахаров Р.А., Урушев С.В. Применение плазменных методов при обработке поверхностей деталей подвижного состава. Транспорт: проблемы, идеи, перспективы. – Неделя науки – 2011 (Программа), с. 54.
8. Сахаров Р.А., Урушев С.В., Кононов Д.П. Плазменная очистка котлов железнодорожных цистерн. Транспорт: проблемы, идеи, перспективы. – Неделя науки – 2012 (Материалы), с. 63–69.
9. Сахаров Р.А. Разработка технологии плазменной очистки поверхностей металлических конструкций. – М.: Изд-во МИПС, 2017. – Т.17. – №1. – С. 9–18. ■

Повышение конкурентоспособности применяемых технологий в судостроительном производстве и качества выпускаемой продукции на сегодняшний день является наиболее актуальным. Одна из важных составляющих этой проблемы – повышение точности изготовления и формирования корпусных конструкций, а также производство укрупненных насыщенных сборочных единиц в чистый размер.

Чистый размер – качественный показатель, характеризующий изготовление судовых корпусных конструкций (секций, блоков) без монтажных припусков [1].

Строительство в чистый размер означает, что формирование секций происходит с минимальным припуском, который должен быть удален после виртуальной сборки с соединяемой частью. Из этого следует, что при формировании корпуса секция или насыщенные крупноблочные конструкции поступают на сборку без припусков, а детали сразу изготавливаются с требуемыми допусками и могут быть установлены на штатное место без подгонки.

Размерный контроль – стратегический процесс в современной конкурентоспособной судостроительной отрасли. Данный процесс позволяет снизить количество брака, избежать переделок и организовать строительство судов и кораблей в чистый размер. Также с его помощью становится возможным проводить анализ процесса изготовления и получать информацию о конечном продукте. Размерный контроль подразумевает быстрые и точные измерения, оценку деталей и сборочных единиц без помех для выполнения других работ. Целью размерного контроля является не только поддержание размеров в пределах допуска, но и помощь при проектировании и производстве качественного продукта.

Среди различных методов, доступных для автоматизации действий по контролю размеров, можно упомянуть методы визуализации и лазерной съемки, получающие все более широкое распространение. Усовершенствования технологии лазерных измерений обеспечивают их высокую точность и скорость. Так, например, сегодня современный тахеометр может выполнять безотражательные измерения в диапазоне 2000 м с точностью до 2 мм.

Контроль геометрических характеристик обычно начинается с получения набора координат точек в системе отсчета оборудования. С помощью метрологического программного обес-

ВАРИАНТ ТЕХНОЛОГИИ РАЗМЕРНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СУДОВ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЕДИНСТВА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

*К.О. Будников, инженер-технолог АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. (812) 714 8982, +7 (981) 728 4708*

печения, реализующего преобразование тригонометрии и системы отсчета, вычисляются линейные и угловые размеры от этих точек. Данные результаты можно сравнить с номинальными расчетными значениями. Если они находятся в пределах допуска, то геометрия детали принимается. Данного подхода недостаточно для того, чтобы справиться со сложностью судна из-за большого количества деталей и множества взаимосвязей и взаимодействий между этими деталями. В некоторых случаях допустимо отклонение от допуска, например, если нет влияния на характеристики детали или они не идут на сборку. В других случаях размеры детали могут находиться в пределах допуска, но она не будет подходить или правильно работать. При контроле размеров судна, состоящего из большого количества взаимосвязанных систем, следует учитывать и их характеристики, поэтому данные системы трудно выразить серийой простых наборов линейных размеров и их допусков.

Взаимосвязь различных деталей и узлов на судне представляет собой особую проблему для контроля размеров, поскольку небольшие дефекты при их изготовлении могут привести к непредсказуемым результатам при окончательной сборке. При проверке должны учитываться не только линейные или угловые размеры, но и такие особенности, как несовпадение конструктивных элементов, несоответствие стыкуемых кромок или сложные формы корпуса.

Вариант рассматриваемого метода за счет внедрения электронной геометрической модели позволяет анализировать контроль размеров. Электронная модель помогает в процессе сборки определить на начальном этапе набор геометрических соотношений измерений и цели контроля размеров. Данные цели, обычно относящиеся к процессу сборки, являются необходимыми для проектирования и производства качественного продукта. Когда связи переводятся в измерения, то

цели количественно оцениваются и контролируются.

Рассматриваемый вариант технологии размерного контроля «цель–связь–измерение» основан на предположении, что измерения должны выполняться при возникновении конкретных проблем. Важно, чтобы измерения были нацелены на достижение конечного результата. Размерные связи представляют собой соотношения геометрических характеристик модели, которые находятся во взаимосвязи с целью. Измерение – это способ количественной оценки соотношений, определяющих точки, в которых фактический инструмент должен иметь координаты.

Необходимо понимать информацию, требуемую производству, и определять ее с помощью целей.

Цели контроля выявляют при возникновении проблем в процессе проектирования или производства. Целью контроля также может быть сам процесс производства, такой, как обеспечение точности размеров деталей с целью достижения качества конструкции, например, плоскостности палубы или выравнивания элементов обшивки, либо точности сборки. Каждая цель должна быть актуальной и отражать важность процесса проверки.

Планирование производства – также важный этап определения и анализа целей контроля размеров.

Размерные связи – это совокупность геометрических размеров, фиксируемых по замкнутому контуру, которые определяют взаиморасположение поверхностей одной или нескольких деталей, непосредственно используемых для решения поставленной цели. Как правило, для проверки одной цели контроля требуется более одной связи, для их определения могут использоваться электронная модель и ее геометрические элементы.

Определение связей является наиболее важной частью планирования размерного контроля, потому что они связаны с фактическими измерениями. Поскольку мы имеем дело со слож-

ной системой, то можно создать большое количество избыточных связей, что повысит качество анализа.

Простейшие связи могут состоять из двух точек и линейного расстояния между ними, но они могут усложняться, чтобы указывать на соотношения объектов и их связи. На основе цели в модели выбирают элементы, которые после проверки выборочных геометрических характеристик должны ее достичь. Для более простых целей может потребоваться одна или две взаимосвязи, но для сложных целей потребуется большее число таких взаимосвязей.

Чтобы определить геометрические связи, которые должны соответствовать поставленной цели, используется электронная модель и ее геометрические элементы. Например, для определения плоскостности палубы необходимо связать группу точек на настиле палубы с номинальными значениями и сравнить угол плоскости, которую они образуют. Для сборки двух насыщенных блоков можно связать противоположные объекты, которые представляют собой структурные элементы, и проверить их совмещение и их взаимное расположение. Также можно проверить, образуют ли стыки, которые образованы полным набором элементов, параллельную плоскость и перпендикулярны ли они противоположным конструкциям.

Классификация связей, основанная на типе связанных объектов:

- связь между измерениями,
- связь между измерениями и объектами электронной модели,
- связь между объектами электронной модели.

Связи могут быть определены исключительно при сравнении положения нескольких элементов в детали. Электронную модель можно использовать для определения элементов (это не требуется во время анализа). Если измерительный прибор закреплен, то достаточно его системы отсчета, потому что все измерения выполняются в одной системе. Например, простой связи, состоящей из двух точек, достаточно, если интересует расстояние между двумя известными точками. Необходимо очень точно определить точки в конструкции с помощью марок или отражателей.

Также имеется взаимосвязь между измерениями, когда проводится их анализ при создании объекта. В данном случае комплекс взаимосвязанных измерений касается линии, плоскости, цилиндра, сферы или другой правильной формы. При этом анализируются свойства этой формы, например, радиус или угол, расстояние

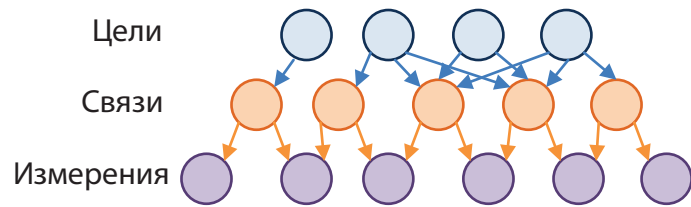


Рис. 1. Структура варианта методики размерного контроля

до любых точек или других объектов, построенных из точек измерения. Систему отсчета также можно зафиксировать с помощью измерительного прибора без использования геометрической модели.

Связи могут быть установлены между элементами геометрической модели и измерениями, когда информация должна учитывать элементы модели как ссылку на измерение. В этом случае лучше всего подогнать эталонную систему измерений к модели, а затем проводить анализ в этой новой известной системе. Общая идея состоит в том, чтобы проверить, соответствуют ли измерения конкретному элементу модели, предполагая, что сделаны измерения реальной части этого элемента.

Примером взаимосвязи группы измерений и элемента модели является, например, требование анализа поверхности корпуса.

При создании взаимосвязи между геометрической моделью и измерениями очень важно, чтобы модель действительно представляла фактическую деталь или чтобы отклонения детали от некоторых конструктивных требований были представлены в модели. Если деталь находится на начальной стадии изготовления и имеет отклонения, то эту информацию следует учитывать в модели или при анализе взаимосвязей. При этом нужно учитывать усадку, окраску и технологические элементы в детали.

Также можно создавать связи, используя объекты модели. Они особенно полезны при сборке деталей, когда относительное положение спроектированных деталей, их размеры проверяют на модели. В этом случае измерения деталей могут проводиться отдельно, но с использованием одной и той же системы отсчета. Затем детали преобразуются в систему отсчета измерений, чтобы получить их относительное положение. Это может быть более полезно при сборке сложных конструкций на основе индивидуальных измерений.

Заключительным этапом является измерение и получение координат облака точек, определенных на этапе выявления размерных связей. Измерения проводятся для того, чтобы

достичь связи и поставленной цели. Никакие измерения не проводятся без необходимости, чтобы не тратить время и усилия при производстве, хотя допускается некоторая избыточность для повышения их точности. Структура методики размерного контроля показана на рис. 1. Связи могут соотноситься с более чем одной целью, а одно измерение может участвовать более чем в одной размерной связи. Но измерений без связей и цели быть не должно.

Завершающим этапом размерного контроля является анализ. После получения всех измерений можно проверить каждую взаимосвязь и цель. Этот процесс может потребовать оценки, если выявлены отклонения. Теперь допуски можно применять к размерным связям, но не к измерениям, с лучшим пониманием взаимосвязи этого допуска с целью.

В качестве одного из примеров применения размерного контроля можно рассмотреть сборку двух блоков судна на сборочной площадке. Возможные цели такой сложной конструкции: основная цель 1 и две второстепенные цели – 2 и 3, которые дополняют основную. Цель 1 – убедиться, что блоки №1 и №2 будут соответствовать друг другу во время сборки. Цели 2 и 3 – убедиться, что основные размеры блоков №1 и №2 находятся в пределах общего допуска.

По мере завершения блока №1 его можно доработать до окончательных размеров, чтобы он идеально вписался в блок №2. Цель 1 также покажет, какие доработки необходимы для блока №1.

Проблемы производства связаны с качеством изготовления деталей, оцениваемые путем контроля допусков в ходе него, а также с пониманием того, как собрать два больших блока вместе на сборочной площадке. На сегодняшний день считается допустимым отклонение в 10 мм от номинальных значений окончательных размеров блока.

Даже если соблюдены некоторые допуски по точкам, блоки могут не выровняться и не будут соответствовать друг другу. Однако иногда некоторые допуски могут не соблюдаться, но сборка все же будет возможна. Обычно в таком случае недостаток ма-

Список связей для достижения требуемых целей и необходимых измерений

Цель	Связь	Измерение	Тип ограничения	Описание
Ц-2	С-1	В-1	Измерения объектов модели	Сторона В-1 соответствует модели
Ц-2	С-2	Б-1	То же	Сторона Б-1 соответствует модели
Ц-3	С-3	В-2	« «	Сторона В-2 соответствует модели
Ц-3	С-4	Б-2	« «	Сторона Б-2 соответствует модели
Ц-3	С-8	Г-2	« «	Сторона Г-2 соответствует модели
Ц-1	С-5	В-1, Б-1	Оценка данных для лучшей геометрической совместимости, проверка взаимосвязей между объектами модели	В-1 и Б-1 перпендикулярны
Ц-1	С-6	Б-1, Б-2	То же	Б-1 и Б-2 в одной плоскости
Ц-1	С-7	В-1, Г-2	Оценка, взаимосвязи между измерениями	Сторона В-1 совпадает с Г-2

териала в одном блоке компенсируется избытком в другом.

Установление целей должно быть первым шагом в процессе измерения. Это поможет выбрать правильные элементы измерения и избежать потери времени на производстве. Чтобы определить, что измерять, цели должны объясняться как геометрические связи. Цели 2 и 3 легко соотнести, поскольку рассматриваются связи некоторых выбранных номинальных размеров блока с его фактическим измеренным значением. Для простоты можно рассмотреть стык граней В-1 блока 1 и Г-2 блока 2, а также некоторые основные размеры В-1, Б-1 блока 1 и Б-2 и Г-2 блока 2 показанных на рис. 2.

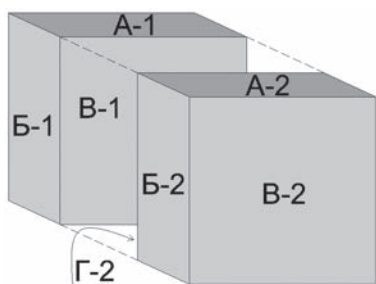


Рис. 2. Схема сторон блоков для сборки

Взаимосвязи и размеры двух блоков могут быть при необходимости усложнены, чтобы учесть особенности конструкции. Для простоты рассматриваются измерения точек плоскости сопряжения блока.

Измерения двух блоков проводятся отдельно в соответствии с установленными соотношениями, после чего оценивается зазор и определяется качество сборки.

В таблице перечислены цели, их связи и соответствующие измерения. Чтобы объяснить тип используемых измерений и связей, добавлены описания, а также тип геометрического ограничения, который подразумевает эта связь.

Анализируя данные таблицы, можно увидеть последовательность целей, поскольку цели 2 и 3 способствуют достижению цели 1.

Классификация связей может быть связана с типом ограничений. Хотя такие связи как 1, 2, 3, 4 и 8, отражают простое сравнение номинальных значений с измерениями, в других случаях могут потребоваться более сложные связи для достижения цели.

Более сложная проблема возникает, когда необходимо проверить непре-

рывность и перпендикулярность, как в связях 5 и 6. В этом случае измеренные точки на гранях Б-1 и Б-2 для связи 6 и грани В-1 и Б-1 для связи 5 аппроксимируются к гипотетической плоскости, а угол между двумя плоскостями унифицируется для плоскостности (угол равен 0°) или перпендикулярности (угол равен 90°). Приближение достигается минимизацией суммы квадратов отклонений.

Конечная цель 1 достигается путем объединения измерений и взаимосвязей блоков 1 и 2 и добавления дополнительной взаимосвязи 7 между сопрягаемыми гранями блоков. Важно, чтобы ограничения включали требование перекрывающихся измерений или непересекающихся конструкций. Только после объединения всех измерений с соответствующими соотношениями сборка может быть правильно проанализирована. В случае, если блоки не соответствуют требованиям предварительно определенных допусков, потребуется доработка до тех пор, пока не будет достигнуто условие сопряжения. Это позволит определить необходимость доработки до попытки соединения и, следовательно, обеспечить значительную экономию средств даже при необходимости доработки.

Заключение. Предложенный метод размерного контроля предлагает использовать геометрические взаимосвязи между элементами геометрической модели и измерениями реальных деталей для реализации строительства в чистый размер. Предполагается, что данный метод поможет координации работы проектантов, производителей и групп размерного контроля. Элементы рассмотренной модели ис-

пользуются при построении этих взаимосвязей, а также в качестве эталона для измеренных значений.

Однако легкая доступность измерительного оборудования и снижение затрат на проверку размеров конструкций и соответствие деталей с его помощью может привести к излишнему количеству измерений и данных, не имеющих значения. Привязка измерения к необходимой цели проверки позволит оптимизировать выполнение производственных задач и сократить время на ее решение.

Предлагаемый метод также демонстрирует тенденцию к раннему, на стадии проектирования, контролю размеров конструкций или деталей, определения целей и геометрических отношений, которые необходимо проверить. Возможность планирования порядка контроля позволит избежать ошибок измерений, а также предотвратить сбор избыточных данных в процессе строительства.

Систематический и структурированный метод размерного контроля будет способствовать автоматизации процесса проверки. Автоматический контроль размеров – это естественный следующий шаг в этой области, который будет способствовать улучшению качества строительства судов и кораблей, а значит, и повышению конкурентоспособности отечественного судостроения.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО ОСК. КСМК 06.003–2021 СМК. Высокоточные координатно-измерительные системы, предназначенные для поставки в общества Группы ОСК и их эксплуатации. Общие требования. ■

ДИНАМИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ СУДОСТРОЕНИЯ

М.В. Александров, канд. техн. наук, ген. директор,
А.В. Вебер, канд. техн. наук, советник ген. директора, АО «ЦТСС»,
В.А. Барсуков, инженер АО «Адмиралтейские верфи»,
Ю.М. Зубарев, д-р техн. наук, зам. зав. кафедрой,
В.И. Черненко, д-р техн. наук, проф. СПбГМТУ,
контакт. тел. +7(921) 936 3824

Развитие современного судостроения характеризуется интенсификацией производственных процессов, связанной с необходимостью повышения производительности труда, снижения себестоимости выпускаемой продукции, а также повышения качества и надежности ее эксплуатации в пределах установленных сроков работы.

Применительно к механообработке заготовок деталей судостроения резанием на станках различных типов устанавливаются требования к точности исполнительных размеров и формы изделий, а также к качеству металла их поверхностного слоя, так как именно эти характеристики деталей определяют в основном надежность изделия, т.е. возможность выполнения и сохранения во времени требуемых функций изделия в заданных нагрузочно-скоростных режимах и условиях применения.

Решение всех этих задач связано с необходимостью выбора оборудования и режимов механической обработки заготовок деталей судовых машин и механизмов с учетом динамических свойств технологической системы. Под *технологической системой* понимают комплекс «станок-приспособление-инструмент-обрабатываемая заготовка». Технологическая система вибрирует с большей или меньшей интенсивностью во всех случаях обработки материалов резанием.

Металлорежущий станок, как и любое другое оборудование или устройство, можно рассматривать в качестве колебательной системы со многими степенями свободы, в каждой из которых, как в самостоятельном контуре, возникают вибрации определенной интенсивности. В связи с этим при работе станков во всех звеньях их технологической системы могут возникать колебания различных видов.

В зависимости от жесткости технологической системы и ее конструкции (наличие зазоров, стыков и пр.) в процессе обработки заготовок могут возникать вынужденные, параметрические и автоколебания (самовозбуждающиеся колебания).

Колебательным движением, или просто *колебанием*, называют изменение какой-либо физической вели-

чины, которой свойственен переход от возрастания к убыванию. Обычно для колебательного процесса характерно неоднократное чередование этих переходов.

Например, дифференциальное уравнение свободных колебаний материальной точки имеет вид

$$\ddot{x} + \frac{c}{m} \cdot x = 0,$$

где c – коэффициент пропорциональности при упругой силе; m – масса точки.

Если обозначить постоянные величины $\frac{c}{m} \equiv k^2$, а переменную через Y , то данное уравнение можно представить однородным дифференциальным уравнением второго порядка: $\ddot{Y} + K^2 Y = 0$.

Что касается вынужденных колебаний в металлорежущих станках и другой технике, то их исследование и расчет в настоящее время особых трудностей не составляет, что отражено в современной литературе [1–4 и др.].

Автоколебания наиболее опасны, так как они возникают в широком диапазоне режимов резания и значительно труднее, чем другие виды колебаний, поддаются устранению. Автоколебания – наиболее распространенный вид вибраций, возникающих как в процессе обработки заготовок резанием, так и вообще при эксплуатации любой сложной техники. Если не устранить причины, обуславливающие возникновение этих колебаний, то ухудшается качество обрабатываемой поверхности, снижается производительность обработки, повышается износ деталей работающего механизма и сокращаются сроки его эксплуатации [3, 5].

Кроме того, вибрации, возникающие при работе энергетических установок и механизмов, передающих крутящий момент, приводят к возникновению повышенных шумов, что в ряде случаев вредно и нежелательно.

В автоколебательной системе всегда имеет место еще обратная связь системы с источником колебаний. На рис. 1 приведена общая схема автоколебательной системы.

Таким образом, можно дать такое физическое определение автоколебательной системы: это устройство (механизм), способное создавать незатухающие колебания и характеризующееся наличием источника энергии, «клапана», регулирующего поступление энергии в колебательную систему, и обработкой связи колебательной системы на «клапан».

К числу автоколебательных систем относятся: пневматические ударные инструменты, двигатели внутреннего сгорания (ДВС), паровые турбины, валы передачи крутящего момента на винт. К случаям автоколебательного движения следует отнести также различные релаксационные и фрикционные колебания, флаттер крыла самолета, движение судов на подводных крыльях, шимми передних колес автомобиля и самолета, крутильные системы с механическими передачами и т.п.

При рассмотрении динамики технологических процессов механической обработки заготовок деталей в судостроении следует разделить их на два этапа:

– черновая обработка, при которой основными критериями являются производительность и стойкость режущего инструмента, значитель-



Рис. 1. Схема автоколебательной системы

но влияющая на себестоимость изготовления;

- чистовая обработка, при которой основными критериями является точность и качество обработки на основе правильно выбранных режимов резания.

И в том и в другом случае на выходные параметры технологического процесса значительное влияние оказывают автоколебания, возникающие в технологической системе. В первом случае они вызывают значительный износ (и даже выкрашивание) режущего инструмента и снижение производительности, во втором – значительное снижение точности и качества обработки, что потом сказывается на работоспособности и надежности механизма, для которого предназначены эти детали.

Величина автоколебаний в технологической системе зависит:

- от качества и точности технологического оборудования (станка);
- от точности наладки станка;
- от правильно выбранных режимов обработки и геометрии режущего инструмента

Технологический уровень производства в машиностроении (в том числе и в судостроении) определяется состоянием парка технологического оборудования: его возрастным составом, структурой, инновационностью и другими характеристиками.

Одной из самых острых проблем в судостроении является значительный износ основных фондов, который на отдельных предприятиях достигает более 55% (по их полной балансовой стоимости). А износ металлообрабатывающего оборудования достиг почти 70%. Выбывание изношенных основных фондов превышает их обновление.

Физически изношенное оборудование предприятий судостроения не позволяет достигать нормативных показателей (например, квалитетов точности обработки), качества поверхности и операционных норм времени.

Для достижения требуемых по технологическому процессу точности и качества поверхности станки работают на значительно заниженных режимах обработки, тем самым снижая производительность труда. Морально устаревшее оборудование и технологическая оснастка становятся неконкурентоспособными, что затрудняет и осуществление современных технологий. В результате возникает отставание как по эксплуатационным характеристикам, так и по расходу потребляемых ресурсов.

Для повышения эффективности использования технологического оборудования необходимо, чтобы все станки, включая новые, проходили ежегодную паспортизацию по их динамическим и точностным характеристикам. Это позволит разделить, пусть и условно, все оборудование на две (три) группы:

- пригодные для предварительной (черновой) обработки;
- пригодное для чистовой (окончательной) обработки.

В стратегическом преобразовании структуры парка оборудования механообрабатывающего производства в судостроении можно выделить четыре основных направления:

- повышение полезной отдачи от эксплуатации оборудования в виде объема производимой продукции или объема выполняемых услуг;
- снижение расходов на содержание и эксплуатацию оборудования;
- снижение темпа износа (физического и морального) оборудования на протяжении срока его полезного использования;
- повышение гибкости и прогрессивности парка оборудования.

Выделенные направления взаимосвязаны, и при проведении различных мероприятий они проявляются комплексно.

ВЫВОДЫ

1. В большинстве случаев колебания, возникающие в машинах, двига-

телях, станках, на кораблях и самолетах, вредны и опасны. Необходимо знать причины, вызывающие такие колебания, понимать, как они протекают и предвидеть их последствия.

2. Несбалансированность вращающихся частей (станков, паровых турбин, валов, дисков и пр.) становится источником их колебаний.

3. Статистика показывает, что около 60% поломок и аварий в судостроении – результат недопустимых колебаний.

4. При механической обработке заготовок различных деталей в судостроении на выходные параметры технологического процесса значительное влияние оказывают автоколебания, возникающие в технологической системе.

5. Для повышения эффективности механообработки заготовок (точности, качества и производительности) необходимо ежегодное обновление парка станков на 15–20% и их ежегодная паспортизация по динамическим и точностным характеристикам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вейц В.Л., Васильков Д.В., Зубарев Ю.М.* Динамика технологических систем. 4.2. Колебания в металлорежущих станках, – СПб.: Изд-во ПИМаш, 2002. – 256 с.
2. *Вульфсон И.И.* Колебания машин с механизмами циклового действия. – Л.: Машиностроение, 1990. – 309 с.
3. *Зубарев Ю.М.* Динамические процессы в технологии машиностроения. Основы конструирования машин. – СПб.: Лань, 2018. – 212 с.
4. *Кудинов В.А.* Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 359 с.
5. *Носов В.В.* Диагностика машин и оборудования. – СПб.: Лань. 2012. – 384 с.
6. *Эльясберг М.Е.* Автоколебания металлорежущих станков. Теория и практика. – СПб.: Изд-во ОКБС, 1993. – 82 с. ■

Начало XXI в. характеризуется интенсивным изменением в военном кораблестроении, кардинально меняется облик надводных кораблей, расширяется спектр решаемых ими задач, приоритетное развитие получают ракетные системы с унифицированными вертикальными пусковыми установками, существенный скачок происходит в развитии радиоэлектронного вооружения и средств радиоэлектронной борьбы [1, 2]. По мере эволюционного развития оружия и вооружения кораблей происходит совершенствование и развитие корабельных тепловых двигателей и энергетических установок (ЭУ), созданных на их основе. Конструкторы переосмысливают идеологию обоснования облика ЭУ (т. е. типа, состава и схемного исполнения) и архитектуры ее комплектования при размещении внутри корпуса корабля.

Наряду с развитием и совершенствованием корабельных тепловых двигателей в последние десятилетия параллельно происходило развитие и совершенствование корабельных ЭУ. Отходили в прошлое устаревшие типы ЭУ, совершенствовались тепловые схемы, оптимизировался состав тепловых двигателей, входящих в структуру ЭУ. Так, с начала 60-х – 70-х гг. прошлого века морально устаревшие паросиловые ЭУ, доминировавшие на боевых кораблях дальней морской и океанской зон, начали постепенно замещаться новым типом возрождающейся корабельной энергетики – газотурбинными установками (ГТУ).

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Появление надежных корабельных газотурбинных двигателей (ГТД), приспособленных к работе в морских условиях, позволило в значительной степени улучшить маневренные и массогабаритные характеристики ЭУ. Однако комплектование главных энергетических установок (ГЭУ) только лишь ГТД за рубежом происходило не сразу. Это связано с тем, что на скоростях экономического хода корабль затрачивает всего 20–30% мощности ГЭУ от номинальной, что приводит к снижению нагрузки работающих ГТД более чем на 50% и, как следствие, к значительному увеличению расхода топлива (рис. 1). По этой причине использование всережимных ГТУ на маршевых ходах было бы неэкономично. Логичным решением данной проблемы стало создание комбинированных ГЭУ. Такие достоинства ГТД, как относительно большая удельная мощность, высокая экономичность на полной нагрузке, быстрый запуск и набор мощности, в сочетании с большим моторесурсом и высокой экономичностью дизеля, позволили комби-

ТЕНДЕНЦИИ ЭВОЛЮЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СХЕМНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК МНОГОЦЕЛЕВЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ

А.В. Шляхтенко, д-р техн. наук, проф., ген. директор,
И.Г. Захаров, д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора по перспективному проектированию,
В.В. Барановский, д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора по энергетическим установкам, судовым системам и устройствам,
 АО «ЦМКБ «Алмаз»,
 контакт. тел. (812) 373 8300, 369 1233

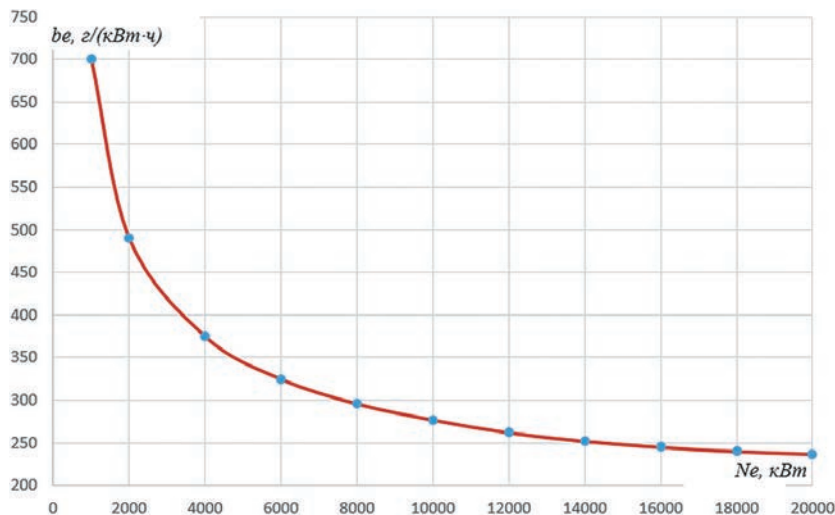


Рис. 1. Изменение удельного расхода топлива ГТД М90 ФР в зависимости от нагрузки

нировать их для достижения экономичной работы ГЭУ в широком диапазоне нагрузок.

Первые ГТД относительно небольшой агрегатной мощности, использовались в комбинированных ЭУ (т. е. в комбинации, как правило, дизеля и газовой турбины) кораблей класса не старше фрегата.

Система CODAG (англ. COmbined Diesel And Gas turbine) впервые в мире была разработана в Германии для фре-

гатов серии F120 «Köln» (водоизмещение – 2750 т, 1961–1964 гг. Здесь и далее указано время постройки. – Прим. авт.). В состав ГЭУ фрегата входили 2×ГТД фирмы Brown Boveri & Cie (ныне – ABB, Швейцария) мощностью 2×8832 кВт и четыре 16-цилиндровых дизельных двигателя фирмы MAN, мощностью 4×2208 кВт. Таким образом, через редуктор обеспечивалась совместная работа двух дизельных двигателей и одного ГТД на одну линию вала.

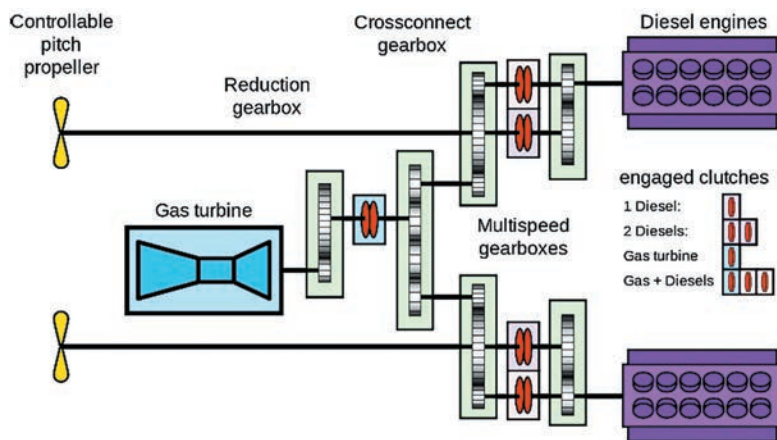


Рис. 2. Принципиальная схема ГЭУ CODAG современных фрегатов типа «Fridtjof Nansen»

Обеспечение совместной работы дизеля и газовой турбины на один гребной винт представляет собой сложную задачу из-за их различных принципов управления, а также существенного различия их нагрузочных характеристик (изменения мощности двигателя в зависимости от частоты вращения). Для решения указанной проблемы конструкторы применяют специальные многоскоростные редукторы или гидротрансформаторы.

Например, у современных фрегатов типа «Fridtjof Nansen» ВМС Норвегии (водоизмещение – 5290 т, 2003–2011 гг.) с ЭУ типа CODAG (рис. 2) передаточное число дизельного двигателя изменяется от 1: 7,7 в режиме «дизель–винт» до 1: 5,3 в режиме «дизель+ газовая турбина–винт». Некоторые корабли имеют даже три различных передаточных числа для дизельных двигателей – по одному для маршевых ходов, с одним и двумя дизелями, а третье – для включения газовой турбины.

Более простым, по сравнению с системой CODAG, является схемное исполнение ГЭУ с раздельной работой дизеля и газовой турбины CODOG (англ. COmbined Diesel Or Gas turbine), которое позволяет соединять дизели с редукторной передачей с фиксированным передаточным числом на валу, но отключает дизельные двигатели при включении турбины.

Схемы ГЭУ CODOG (рис. 3) были использованы конструкторами на многих кораблях, например, на таких, как:

- фрегаты ВМС Германии серии F122 «Vremen» (водоизмещение – 3750 т, 1979–1990 гг.). В составе ГЭУ: 2 дизеля MTU 20V956 TB92 мощностью 2×3,8 МВт и 2 ГТД GE LM2500 мощностью 2×15,0 МВт) и серии F123 «Brandenburg» (водоизмещение – 4490 т, 1992–1996 гг.). В составе ГЭУ: 2 дизеля MTU 20V956 TB92 мощностью 2×3820 кВт и 2 ГТД GE LM-2500 SA-ML мощностью 2×19,0 МВт;
- фрегаты ВМС Франции «Georges Leagues» (водоизмещение – 4500 т, 1974–1990 гг.). В составе ГЭУ: 2 дизе-

ля SEMT Pielstick 16PA6-V280 мощностью 2×3878 МВт и 2 ГТД RR Olympus TM3B мощностью 2×19,388 МВт;

- фрегаты ВМС Италии «Lupo» (водоизмещение – 2500 т, 1976–1980 гг.) В составе ГЭУ: 2 ГТД GE/Fiat LM2500 Plus TAG мощностью 2×18,5 МВт, 2 дизеля Grandi Motori Trieste GMT A230–20 мощностью 2×5,8 МВт) и «Maestrale» (водоизмещение – 3040 т, 1979–1985 гг.) В составе ГЭУ: 2 ГТД GE/Avio GE LM2500 мощностью 2×18,380 МВт, 2 дизеля Grandi Motori Trieste BL-230–20-DVM, 2×4,044 кВт;
- фрегаты морских сил самообороны Японии «Abukuma» (водоизмещение – 2500 т, 1989–1993 гг.). В составе ГЭУ: 2 ГТД Kawasaki-RR SM1A и 2 дизеля Mitsubishi S12U MTK);
- эсминцы ВМС Италии «Luigi Durand» (водоизмещение – 5560 т, 1988–1993 гг.) В составе ГЭУ: 2 ГТД GE/Avio GE LM2500 мощностью 2×20,5 МВт, 2 дизеля Grandi Motori Trieste BL-230–20-DVM, 2×4,968 кВт;
- эсминцы ВМС Франции типа «Horizon» (водоизмещение – 7770 т, 2002–2009 гг.) В составе ГЭУ: 2 ГТД GE/Avio GE LM2500 мощностью 2×20,5 МВт, 2 дизеля SEMT Pielstick 16PA6-3TC мощностью 2×4,320 кВт.

Таким образом, начальный этап внедрения ГТД в корабельную энергетику (1960–1970-х гг.) за рубежом ознаменовался использованием комбинированных установок со схемным исполнением CODAG и CODOG. Все они были экономичнее всережимных паротурбинных установок, имели меньшие массогабаритные характеристики и обладали лучшей маневренностью.

Данный тип схемного исполнения достаточно хорошо зарекомендовал себя в эксплуатации, не потерял своей актуальности и используется конструкторами на современных кораблях по настоящее время. Популяризации использования дизель-газотурбинных ЭУ

за рубежом способствовали разработка и создание эффективных высокооборотных и среднеоборотных корабельных дизельных двигателей достаточно высокой агрегатной мощности (7–10 МВт и более) с моторесурсом, обеспечивающим эксплуатацию их в течение всего жизненного цикла корабля без сложных и трудоемких ремонтов, а также создание эффективных, более мощных, чем дизельные двигатели, ГТД с малой удельной массой и габаритами.

Как исключение из правил, в начальный период внедрения на флотах ГТД на британских кораблях использовались установки типа COSAG (англ. COmbined Steam And Gas turbine), которыми оснащались фрегаты типа «Tribal» (1961 г. постройки) и эсминцы типа «County» (1962 г.). Соотношение мощности ПСУ и ГТУ в ГЭУ составляло 1:1, что явилось следствием требований Адмиралтейства к комбинированным ЭУ британских кораблей того времени. Такие установки просуществовали недолго и впоследствии нигде не использовались.

Внедрение же чисто газо-газотурбинных ЭУ в зарубежную корабельную энергетику на кораблях классов «фрегат» и старше началось немного позднее – в конце 60-х – середине 70-х гг., с появлением ГТД большой мощности, таких как RR Sprey SM1A (14 МВт), RR Olympus TM1 A, TM2 A, TM3B (17,6 × 20,6 МВт) и GE LM2500 (18,4 МВт). В указанный период стало возможным использовать ГТД на кораблях большего водоизмещения в составе газо-газотурбинных комбинированных ГЭУ (в комбинации маршевых и форсажных ГТД) или в составе газо-газотурбинных всережимных ГЭУ (в комбинации ГТД одинаковой мощности).

В британских ВМС изначально получили развитие схемные решения типа COGOG (англ. COmbined Gas turbine Or Gas turbine) (рис. 4) с раздельной работой маршевых и форсажных ГТД. Данный тип ГЭУ использовался на фрегатах пр. 21 «Amazon» (водоизмещение – 3250 т, 1969–1978 гг.), где в качестве маршевых применялись

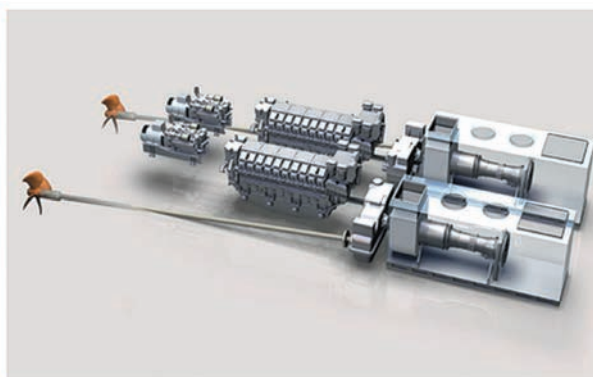
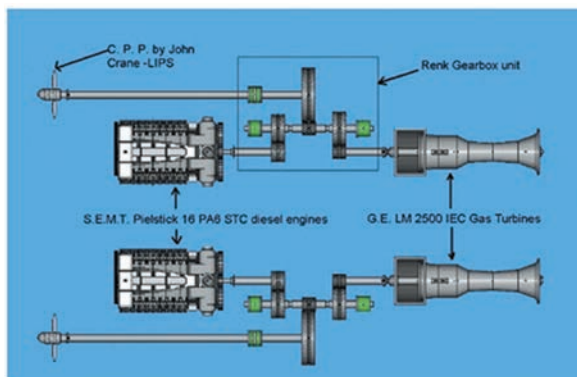


Рис. 3. Схема ГЭУ CODOG фрегатов ВМС Германии серии F122 «Vremen», эсминцев Франции серии F70 «Georges Leagues» и др.

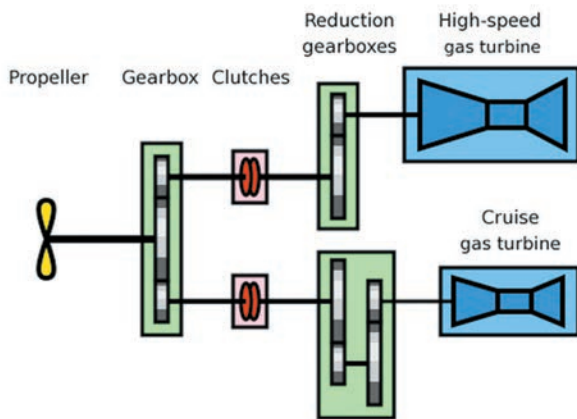


Рис. 4. Схемное решение ЭУ с отдельной работой маршевых и форсажных ГТД – COGAG

ГТД 2×RR Type-RM1C (2×3,1 МВт), а в качестве форсажных – ГТД 2×RR Olympus TM3B (2×18,4 МВт), а также на 1-й и 2-й сериях фрегатов пр. 22 типа «Broadsword» (водоизмещение – 4500–4800 т, 1974–1988 гг.), где в качестве маршевых использовались ГТД 2×RR Type-RM1C (2×4,9 МВт), а в качестве форсажных – ГТД 2×RR Olympus TM3B (2×19,9 МВт).

Аналогичная схема COGAG использовалась на британских эсминцах пр. 42 серии «Sheffield» (водоизмещение – 4350–5350 т, 1971–1985 гг.), где в качестве маршевых применялись ГТД 2×RR Type-RM1C (2×3,0 МВт), а в качестве форсажных – ГТД 2×RR Olympus TM3B (2×18,8 МВт), а также на эсминцах морских сил самообороны Японии типа «Hatsuyuki» (водоизмещение – 3050 т, 1979–1987 гг.) с аналогичным составом главных двигателей (2×Kawasaki RR Type-RM1C и 2×Kawasaki RR Olympus TM3B), построенных по лицензии компанией Kawasaki.

Позже на фрегатах пр. 22 типа «Broadsword» 3-й серии (водоизмещение – 5300 т, 1982–1990 гг.) британскими конструкторами было принято схемное решение COGAG (англ. COmbined Gas turbine And Gas turbine) с совместной работой маршевых ГТД 2×RR Type-RM3C (2×3,57 МВт) и форсажных ГТД 2×RR Sprey SM1A (2×13,8 МВт) (рис. 5, а). Такое решение дало возможность приме-

нить форсажные двигатели другого типа (Sprey SM1A) с меньшей мощностью, что позволило без снижения скорости полного хода корабля уменьшить габариты и массу ГЭУ.

В ВМС США ГТД типа GE LM2500 (18,4 МВт) конструкторы активно стали использовать в составе газогорючего ГЭУ надводных кораблей со схемным исполнением COGAG в виде «спарки» двух ГТД одинаковой мощности (рис. 5, б).

Первым кораблем, на котором использовалось данное техническое решение, стал эскадренный миноносец УРО «Spruance» (водоизмещение – 8040 т, 1972–1983 гг.). Впоследствии схемное исполнение COGAG в виде «спарки» двух ГТД GE LM2500 распространилось практически на все надводные корабли дальней морской и океанской зоны ВМС США: фрегаты «Oliver Hazard Perry», эскадренные миноносцы «Kidd», ракетные крейсера «Ticonderoga», эскадренные миноносцы «Arleigh Burk», большинство из которых находится в составе ВМС и поныне.

Причиной популярности такой схемы в ВМС США (т.е. использования в составе ГЭУ однотипных ГТД GE LM2500) стало стремление конструкторов к унификации основного оборудования ЭУ, которое, в отличие от ВМС других государств, доминировало над стремлением к минимизации

расхода топлива кораблями на маршевых ходах.

Схемные решения COGAG в виде «спарки» двух лицензионных ГТД 2×LM2500 (2×18,4 МВт) получили также распространение на эскадренных миноносцах морских сил самообороны Японии типа «Kongo» (водоизмещение – 9580 т, 1990–1998 гг., 4 ед.) и «Atago» (водоизмещение – 10 000 т, 2004–2008 гг., 2 ед.).

Схемное исполнение ГЭУ COGAG с разделением двигателей по мощности на маршевые и форсажные также активно используется на японских эсминцах:

- серии «Hatakaze» (водоизмещение – 5500 т, 1983–1988 гг.), где в качестве маршевых используются лицензионные ГТД 2×Rolls-Royce Sprey SM1A (2×9800 кВт), а в качестве форсажных – лицензионные ГТД Rolls-Royce Olympus TM3B (2×18180 кВт);
- серии «Murasame» (водоизмещение – 6100 т, 1993–2002 гг., всего 9 ед.), «Takanami» (водоизмещение – 4650 т, 2000–2006 гг., всего 5 ед.) и «Akizuki» (водоизмещение – 6800 т, 2009–2014 гг., 4 ед.), где в качестве маршевых двигателей используются лицензионные ГТД 2×Sprey SM1 C (2×13,8 МВт), а в качестве форсажных – лицензионные ГТД 2×LM2500 (2×16,2 МВт).

Схемное решение COGAG в виде «спарки» двух ГТД одинаковой мощности нашло широкое применение также за рубежом на кораблях относительно крупного водоизмещения, таких как эсминцы-вертолетоносцы и авианосцы. Такое решение является обоснованным в силу того, что на скоростях экономического хода нагрузка на работающих двигателях составит более 50% от номинальной, что обеспечит им приемлемую экономичность.

Впервые ГЭУ в виде «спарки» были установлены на британских авианосцах «Invincible» (водоизмещение – 20 800 т, 1973–1985 гг., 3 ед.), где в качестве главных двигателей использовались

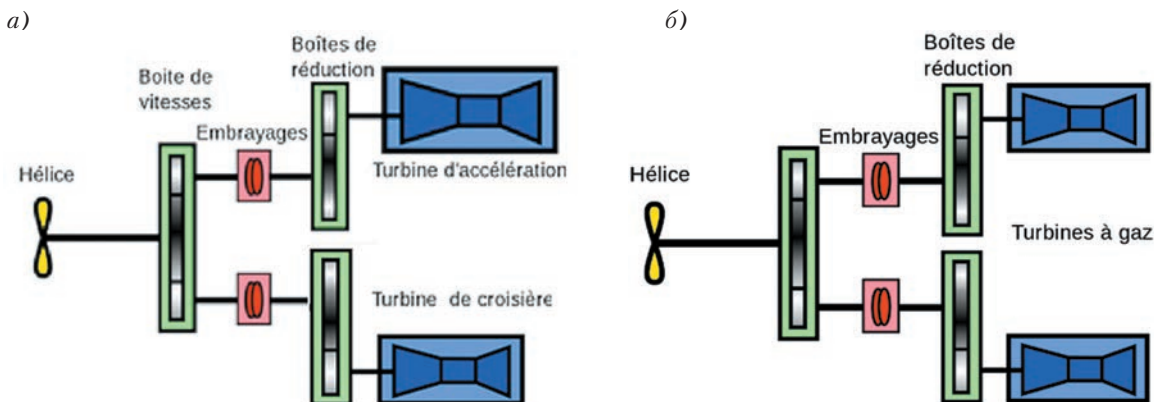


Рис. 5. Схемное решение с совместной работой ГТД – COGAG: а – маршевого и форсажного ГТД; б – ГТД одинаковой мощности – «спарка»

4×ГТД RR Olympus TM3B мощностью 4×17,9 МВт.

На авианосцах ВМС Италии «Giuseppe Garibaldi» (водоизмещение – 14150 т, 1981–1985 гг.) и «Cavour» (водоизмещение – 33000 т, 2001–2008 гг.) также используются схемные решения ЭУ COGAG в виде «спарки» лицензионных ГТД General Electric/Avio LM2500 (4×15 100 кВт на «Giuseppe Garibaldi» и 4×22000 кВт на «Cavour»).

Аналогичные схемы ГЭУ используются на японских эскадренных миноносцах-вертолетоносцах серии «Нууга» (водоизмещение – 19000 т, 2006–2011 гг., 2 ед.) и 22DDH «Izumo» (водоизмещение – 27000 т, 2011–2017 гг., 2 ед.). На этих кораблях тоже применяются «спарки» лицензионных ГТД 2×LM2500 (2×18 400 кВт на «Нууга» и 2×20 600 кВт на «Izumo»).

Таким образом, активное внедрение ГТД на кораблях в начале 60-х – середине 70-х гг. послужило своего рода революционным шагом в развитии корабельной энергетики. В этот период появляются принципиально новые типы ЭУ, изменяются подходы к архитектуре комплектования «облика» ЭУ, повсеместное распространение получают новые схемные исполнения ГЭУ такие, как CODAG, CODOG, COGOG и COGAG, большинство из которых сохраняют актуальность и по настоящее время.

Конец 90-х – начало 2000-х гг. символизирует очередной этап эволюционного развития корабельных ЭУ. Схемы с непосредственной передачей крутящего момента от теплового двигателя через редуктор на винт начинают утрачивать свою актуальность, все активнее их заменяет электродвижение. Тепловые двигатели, т. е. дизели и газотурбинные двигатели, начинают выступать промежуточным звеном, т. е. выполняют роль приводов электрогенераторов, а непосредственную передачу крутящего момента на винт осуществляют гребные электродвигатели (ГЭД).

Многоцелевыми кораблями, на которых впервые были установлены ГЭД, явилась серия британских фрегатов (всего 12 ед.) пр. 23 типа «Duke» постройки 1990–2002 гг., с компоновочной схемой ЭУ CODLAG (англ. COmbined Diesel-eLectric And Gas turbine) (рис. 6).

ЭУ корабля включает: два ГТУ 2×Rolls-Royce Spey SM1 С мощностью 2×23,0 МВт, четыре дизель-генератора Paxman Valenta 12СМ мощностью 4×1,5 МВт и два гребных электродвигателя GEC мощностью 2×3,0 МВт, работающих на два винта регулируемого шага.

Данная специфическая схема ЭУ была разработана специально для фрегатов данного типа (названных фрегатами ПЛЮ XXI в.) и на других боевых кораблях до этого не применялась. При

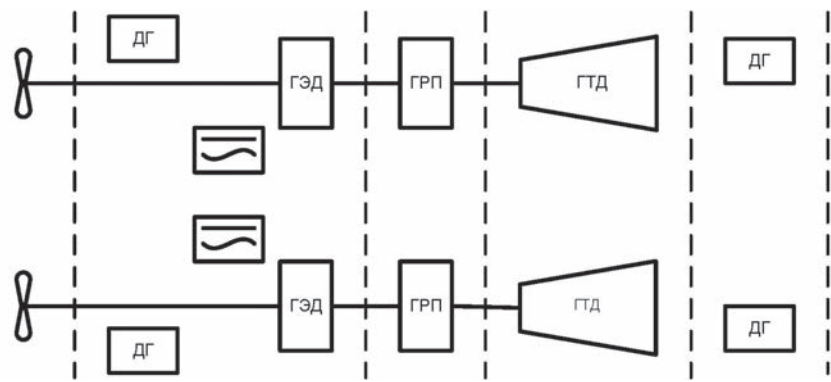


Рис. 6. Схема компоновки ЭУ фрегата пр. 23 британских ВМС

проектировании корабля одним из основных требований было обеспечение малой шумности силовой установки, особенно при выполнении фрегатом поисковых задач при работе с развернутой буксируемой гидроакустической станцией (ГАС) на скоростях хода 12–15 уз.

Другими словами, придание фрегатам многоцелевого характера в плане решения новых задач ПЛЮ побудило конструкторов при обосновании облика ЭУ решать компромиссную задачу минимизации акустического шума на поисковых режимах в ущерб топливной экономичности и массогабаритным характеристикам ЭУ. При этом на экономическом ходу корабля более чем вдвое возросли потери при передаче энергии от первичного источника к гребному винту, что стало следствием использования устаревших на то время технологий силового оборудования. А увеличение габаритов и массы ЭУ произошло в силу появления в системе новых элементов: гребных электродвигателей, генераторов и преобразователей электроэнергии.

В настоящее время подход к электроэнергетическим системам изменился благодаря появлению новых технологий, позволяющих значительно снизить массогабаритные характеристики электротехнического оборудования и повы-

сить КПД при передаче мощности. Одна из них – технология производства твердотельных полупроводников, используемых в силовом электрооборудовании [3, 4]. В электромашиностроении, при производстве электродвигателей или генераторов, применяются также технологии конструкционных материалов (постоянные магниты с полем большой индуктивности и высокотемпературные сверхпроводники), которые предоставляют возможности значительного увеличения удельной мощности и КПД корабельной энергетической установки.

Важным этапом в формировании архитектуры облика ЭУ перспективных многоцелевых кораблей в период конца 90-х – начала 2000-х гг. послужила также минимизация ГТД в составе комбинированных ЭУ. Такое компромиссное решение, как может показаться в ущерб структурной надежности ГЭУ, стало следствием значительной затесненности помещений корабля воздухоподводящими и газовыхлопными патрубками газотурбинных двигателей (рис. 7), что особенно критично для кораблей относительно небольшого водоизмещения.

Как видно на рис. 7, воздухоприемники и газовыхлопные трубы главных дизельных двигателей и дизель-генераторов выглядят «тонкими нитями»,

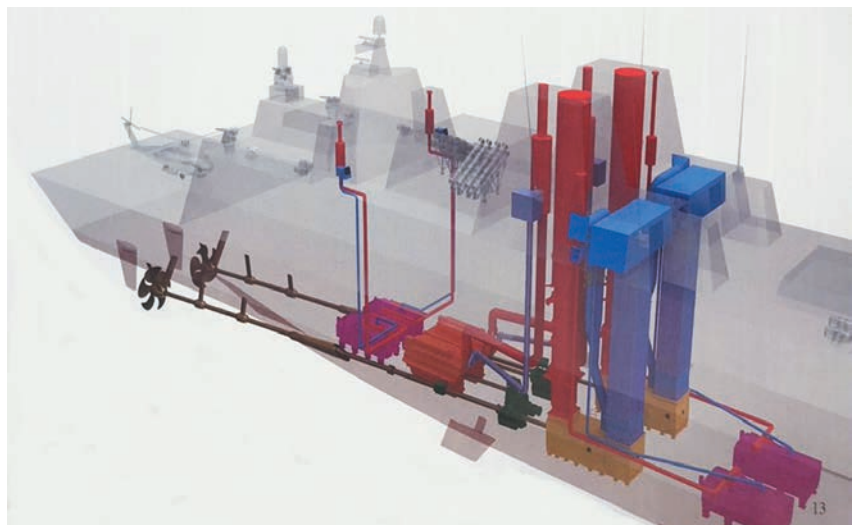


Рис. 7. Газовыхлопные и воздухоподводящие патрубки корабля с дизель-газотурбинной ЭУ

по сравнению с аналогичными трубами ГТД. По этой причине все корабли схемного исполнения COGOG или COGAG с несколькими ГТД в составе ГЭУ имеют сильно развитую воздухоподводящую и газовыхлопную части, которые мешает размещению полезной нагрузки.

Первыми кораблями, где в состав ГЭУ был включен всего один ГТД большой мощности, стали фрегаты ВМС Германии серии F124 типа «Sachsen» (водоизмещение – 5690 т, 1999–2006 гг., 3 ед.). ГЭУ фрегатов «Sachsen» схемного исполнения CODAG (рис. 8) в своем составе включает один ГТД GE LM2500 PF/MLG, мощностью 1×23 515 кВт и два дизеля MTU 20V1163 TB93, мощностью 2×7400 кВт.

Аналогичная схема ГЭУ была использована на норвежских фрегатах типа «Fridtjof Nansen», строившихся в этот же период времени.

Характерной особенностью кораблей серии F124 стало возвращение к схемному исполнению ГЭУ типа CODAG после первичного ее использования на фрегатах серии F120 «Köln» (1958–1964 гг.) и перерыва в использовании данных схем в связи с переходом к более простым схемам COGOG на фрегатах серий F122 и F123.

Другой особенностью данного схемного исполнения, с учетом наличия в составе ГЭУ единственного форсажного двигателя, явилась разработка конструктивной схемы редуктора с возможностью обеспечения работы ГТД на обе линии вала, т. е. произошло, своего рода, заимствование идеи по применению межредукторной перекидки (МРП), впервые использованной в начале 70-х гг. прошлого столетия на кораблях ВМФ СССР.

К настоящему времени схемное исполнение ЭУ CODAG (см. рис. 8) немецких фрегатов F124 получило дальнейшее развитие в связи с переходом от прямодействующих дизельных двигателей, работающих через редуктор на линию вала, к гребным электродвигателям, т. е. от схем CODAG и CODOG на следующей серии фрегатов F125 был осуществлен переход к схемным решениям CODLAG (рис. 9) [5].

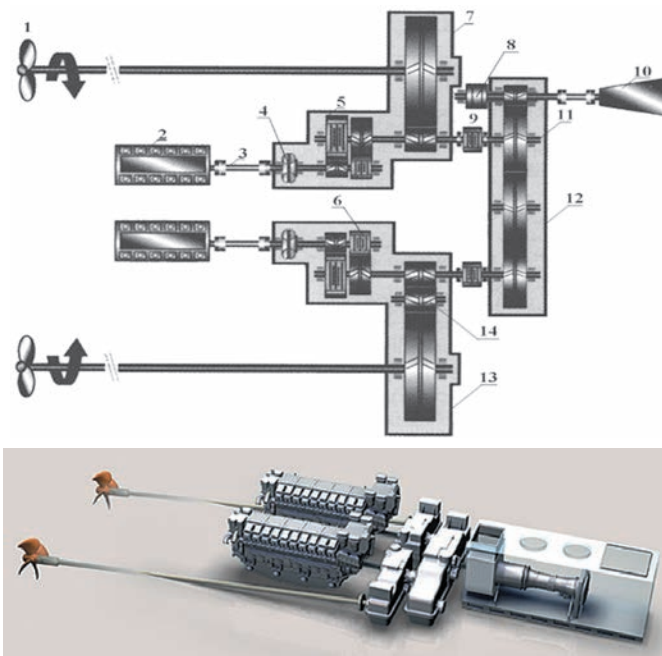


Рис. 8. Схема ГЭУ CODAG фрегатов серии F124 ВМС Германии
1 – винт регулируемого шага; 2 – дизель MTU 20V1163TB96; 3 – гибкий соединительный вал; 4 – гидродинамическая муфта; 5 – многодисковая муфта первой ступени ГРП (полного хода); 6 – многодисковая муфта первой ступени ГРП (экономического хода); 7 – ГРП левого борта; 8 – автоматическая самосинхронизирующаяся скользящая муфта ГТУ; 9 – муфта промежуточного вала; 10 – ГТУ LM2500; 11 – промежуточный вал; 12 – соединительная (замыкающая) зубчатая передача; 13 – ГРП правого борта; 14 – промежуточное (паразитное) зубчатое колесо

На других многоцелевых европейских фрегатах тех же лет постройки стало использоваться более простое схемное исполнение CODLOG, также с одним форсажным ГТД в составе ГЭУ.

К принятию такого технического решения конструкторов, очевидно, побудил положительный опыт использования британских фрегатов пр. 23 «Duke» при выполнении поисковых задач ПЛО.

Данное схемное решение на сегодняшний день, по сути, является воплощением пика совершенства эволюционного развития зарубежной корабельной энергетики. Такими установками оснащаются все перспективные европейские фрегаты: FREMM (Fregates Europeenne Multi-Mission) – ВМС Франции и Италии, пр.26 «Global Combat Ship» – ВМС Великобритании и пр. F125 – ВМС Германии.

На фрегатах FREMM (ВМС Франции и Италии) в составе ЭУ исполь-

зуется 1×ГТД GE/Avio LM2500+G4, на немецких фрегатах серии F125 установлен 1×ГТД GE LM2500+, а на британском фрегате пр. 26–1×ГТД RR MT30.

В дизель-электрическом режиме корабли могут развивать ход до 16 уз с помощью двух ГЭД (немецкий фрегат серии F125 – до 20 уз), что закрывает около 65% потребностей типовых ходовых режимов, включая малошумные противолодочные операции. Под ГЭД обеспечивается максимальная дальность плавания кораблей: 6000 миль FREMM и 7000 миль «Global Combat Ship».

Особенностью итальянских фрегатов FREMM и немецких серии F125 является использование схемного исполнения ЭУ с совместной работой ГЭД и ГТД (типа CODLAG), а особенностью французских фрегатов FREMM и британского пр. 26 – использование схемного исполнения ЭУ с раздельной работой ГЭД и ГТД (типа CODLOG).

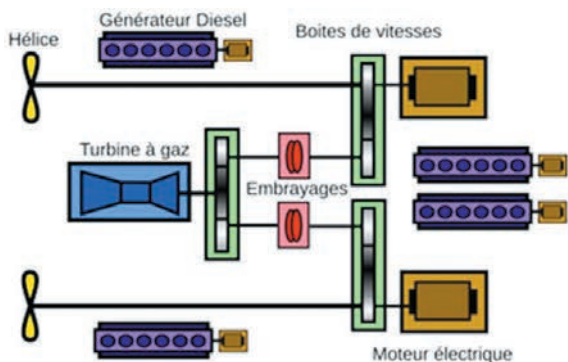
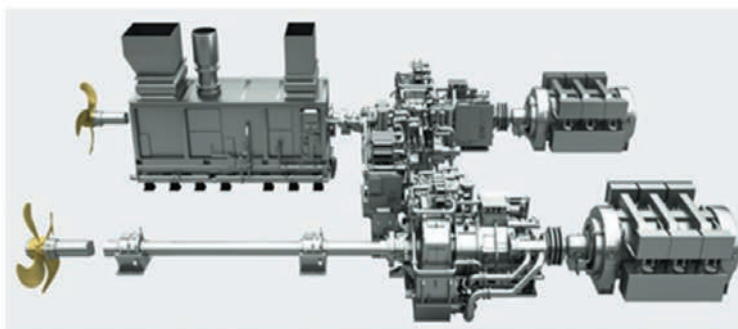


Рис. 9. Схемное исполнение CODLAG (CODLOG) европейских фрегатов



Особый интерес представляет собой ЭУ новых японских эсминцев классов «Asahi» (водоизмещение – 6800 т, 2015–2018 гг.; всего 2 ед.) и «Maya» (водоизмещение – 10250 т, 2017–2021 гг., всего 2 ед.). При обосновании облика ЭУ этих проектов учитывалась возможность размещения таких перспективных видов оружия, как лазеры точечной обороны и системы электромагнитного рельсового оружия, для чего было принято решение об использовании на кораблях гибридной энергетической установки типа COGLAG (англ. COmbined Gas turbine eLectric And Gas turbine).

Главная энергетическая установка (одного эшелона) представляет собой «спарку» главного ГТД GE LM2500–30 (18,4 МВт) через редуктор с электродвигателем/генератором (рис. 10). Данная «спарка» скомбинирована с двумя газотурбогенераторами, расположенными в каждом машинном отделении.

На маршевых ходах движение корабля осуществляется от работающих одного или двух (в зависимости от скорости хода корабля) газотурбогенераторов, питающих электродвигатели/генераторы, работающие в режиме ГЭД. На полных ходах – наоборот, движение корабля осуществляется от главных ГТД, при этом электродвигатели/генераторы переводятся в режим генераторов электроэнергии и питают электрическую сеть корабля, а газотурбогенераторы могут выводиться из действия. Вводятся и подключаются для питания электрической сети газотурбогенераторы при работающем главном ГТД только лишь по необходимости, в случаях необходимости питания энергоемких потребителей оружия и вооружения.

Такая гибридная ЭУ на боевых надводных кораблях применяется впервые, хотя подобные технические решения находят применение на морских судах [6], например, на судне «MS Goblin». Применение гибридных систем позволяет экономить до 12,5% топлива.

Несмотря на широкое распространение за рубежом на перспективных многоцелевых кораблях дальней морской зоны частичного электродвижения (CODLOG и CODLAG), на отдельных боевых кораблях более крупного водоизмещения в начале нынешнего века были внедрены схемы ЭУ с полным электродвижением, т. е. объединенные энергетические системы (IPS – Integrated Power System). Такие системы были использованы на британских эскадренных миноносцах пр. 45 типа «Daring» (водоизмещение – 8700 т, 2003–2013 гг.; всего 6 ед.), британских авианосцах типа «HMS Queen Elizabeth» (водоизмещение – 65000 т, 2009–2019 гг.; всего 2 ед.) и на эсминцах ВМС США DD (X) типа «Zumwalt» (водоизмещение –

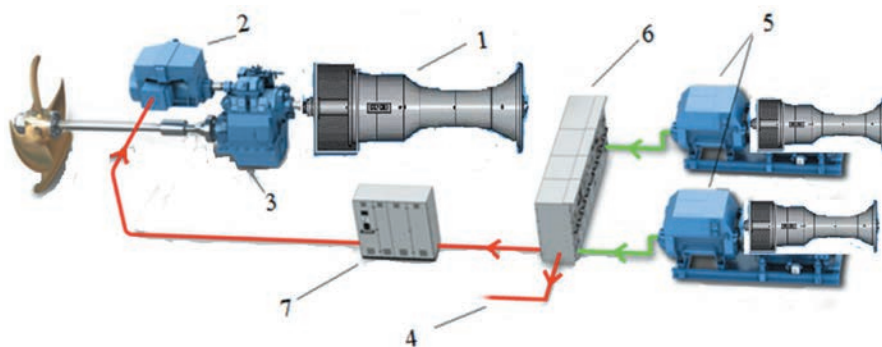


Рис. 10. Схема гибридной ЭУ COGLAG эсминцев «Asahi» и «Maya»
1 – главный ГТД GE LM2500–30; 2 – электродвигатель/генератор; 3 – редуктор; 4 – корабельная электросеть; 5 – газотурбогенераторы; 6 – коммутатор; 7 – конвертор

14500 т, 2011 г. – по настоящее время; всего 3 ед.).

Следует отметить, что энергетические системы IPS за рубежом повсеместно используются на универсальных десантных кораблях, таких, как, например, «Mistral», и судах специального назначения, но все они выходят за рамки настоящего рассмотрения в силу серьезных различий в целевом предназначении по сравнению с многоцелевыми боевыми кораблями.

Объединенная энергетическая система (IPS) эскадренного миноносца пр.45 типа «Daring» включает: два газотурбогенератора мощностью 2×21000 кВт и два резервных дизель-генератора мощностью 2×2000 кВт. В качестве приводов газотурбогенераторов используются ГТД сложного цикла RR WR-21 мощностью 2×24680 кВт, а в ка-

честве привода электрогенераторов на корабле используются ГТД RR MT30, мощностью 2×36,0 МВт.

Объединенная энергетическая система (IPS) британских авианосцев серии «HMS Queen Elizabeth» в своем составе включает (рис. 12): два газотурбогенератора с приводами ГТД RR MT30 мощностью 2×36,0 МВт и четыре дизель-генератора фирмы Wartsila мощностью соответственно 2×Wärtsila V14 46F 2×9000 кВт и 2×Wärtsila V16 46F 2×11000 кВт. На корабле используются ГЭД, аналогичные ГЭД эсминцев пр. 45 типа «Daring», т. е. четыре асинхронных двигателя фирмы Alstom мощностью 4×20000 кВт.



Рис. 11. Корабельный ВТСИ электродвигатель мощностью 36,5 МВт для эсминца «Zumwalt»

честве приводов дизель-генераторов используются дизели Wärtsila 12V200.

В электроэнергетической системе для движения используется повышенное напряжение 4160 В, а для приводов винтов фиксированного шага применены два 15-фазных асинхронных ГЭД фирмы Alstom мощностью по 2×20000 кВт при 180 об/мин. Общекорабельная сеть распределения электроэнергии рассчитана на напряжение 440 В при частоте тока 60 Гц.

Эскадренные миноносцы УРО DD (X) типа «Zumwalt» также оснащаются ГЭД мощностью 2×36,5 МВт, разработанными компанией «American Super

Conductor», где уже используются обмотки из высокотемпературных сверхпроводников, прошедшие в 2009 г. успешные испытания (рис. 11).
В качестве привода электрогенераторов на корабле используются ГТД RR MT30, мощностью 2×36,0 МВт.
Объединенная энергетическая система (IPS) британских авианосцев серии «HMS Queen Elizabeth» в своем составе включает (рис. 12): два газотурбогенератора с приводами ГТД RR MT30 мощностью 2×36,0 МВт и четыре дизель-генератора фирмы Wartsila мощностью соответственно 2×Wärtsila V14 46F 2×9000 кВт и 2×Wärtsila V16 46F 2×11000 кВт. На корабле используются ГЭД, аналогичные ГЭД эсминцев пр. 45 типа «Daring», т. е. четыре асинхронных двигателя фирмы Alstom мощностью 4×20000 кВт.

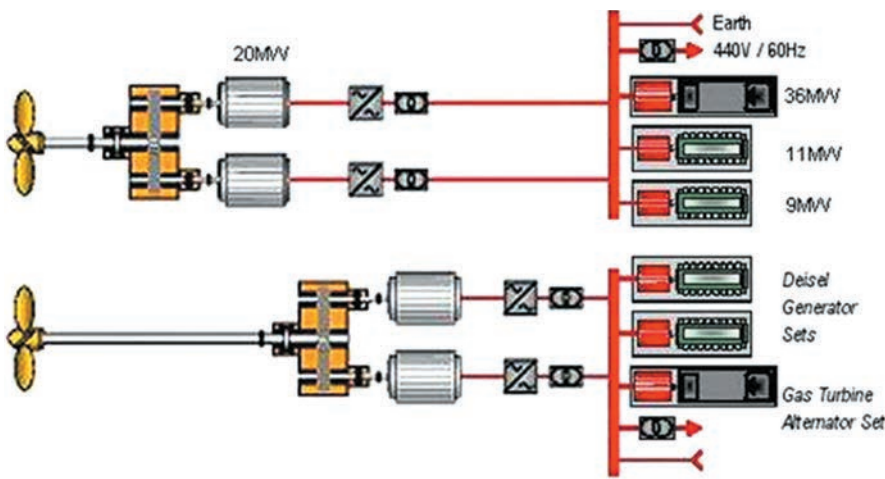


Рис. 12. Структурная схема IPS британских авианосцев типа «HMS Queen Elizabeth»

повышенные габариты и масса за счет массы ГЭД, генераторов электроэнергии и частотных преобразователей. Кроме того, отсутствие на корабле энергоемких потребителей оружия, по мощности соизмеримых с мощностью ГЭУ, также снижает потребность использования системы IPS, так как маломощные маршевые хода можно обеспечить за счет использования более дешевой и менее массивной системы частичного электродвижения.

Рассмотренные выше особенности эволюционного развития зарубежных энергетических установок за последние более чем 50 лет касались в основном многоцелевых кораблей относительно большого водоизмещения – более 3000 т. Популярность использования на таких кораблях в последние два десятилетия систем электродвижения была обусловлена следующими преимуществами: низким уровнем шума, плавным изменением скорости хода корабля и частоты вращения гребного винта, простотой и быстротой осуществления реверса, возможностью перекрестного включения гребных электродвигателей, большей свободой размещения на корабле генераторов электроэнергии.

Что касается эволюционного развития ЭУ кораблей ближней морской зоны – корветов водоизмещением менее 3000 т, то здесь в архитектуре ЭУ сохранялся определенный консерватизм, выражающийся в использовании, как правило, дизельных ЭУ.

Так, для достижения скоростей полного хода 24–26 уз, которой достаточно для решения задач в прибрежных и ближних морских зонах, как правило, используются дизель-дизельные ЭУ схемного исполнения CODAD (англ. Combined Diesel And Diesel). С учетом ограниченности водоизмещений кораблей указанного класса предпочтительнее отдавалось более легким высокооборотным дизелям ($n > 1500$ об/мин). На кораблях более ранней постройки,

до 1980-х гг., как правило, использовались два дизельных двигателя в составе одного редукторного агрегата (рис. 13).

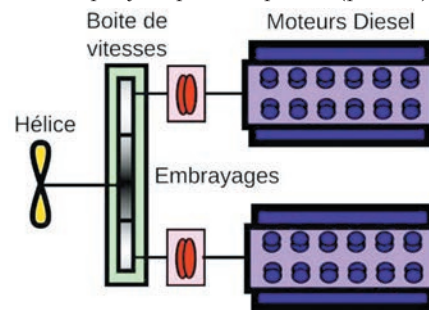


Рис. 13. Схемное исполнение ГЭУ с совместной работой двух дизельных двигателей в составе одного агрегата – CODAD

Редукторный агрегат обеспечивал работу на линию вала любого из двигателей или обоих вместе. Преимущество подобного технического решения перед простым использованием одного, более крупного двигателя с той же общей выходной мощностью заключается в том, что дизельные двигатели имеют несколько лучший удельный расход топлива при мощности в диапазоне от 75 до 85%, чем при мощности 50% и ниже. А использование двух высокооборотных двигателей, даже с немного большим редуктором, дает преимущество в массе и габаритах по сравнению с использованием одного среднеоборотного двигателя.

Однако с появлением высокоэффективных дизельных двигателей большой агрегатной мощности конструкторы стали использовать однодвигательные дизельные агрегаты. Так, например, на корветах ВМС ФРГ серии K130 «Braunschweig» (водоизмещение – 1840 т, 2006–2013 гг., 5 ед.) ГЭУ представлена двумя дизельными двигателями фирмы 2×MTU 20V 1163 TB93 мощностью по 2×7500 кВт.

На корветах ВМС Китая пр. 056 (водоизмещение – от 1300 до 1800 т, в зависимости от модификации построено 72 ед. с 2012 г. по настоящее время ГЭУ

представлена двумя дизельными двигателями фирмы 2×S. E. M. T. Pielstick 16PA6STC.

Несмотря на оснащение подавляющего большинства зарубежных корветов дизельными ЭУ, с начала 80-х гг. на отдельных кораблях конструкторы начинают применять дизель-газотурбинные установки типа CODOG с раздельной работой маршевых и форсажных двигателей. Так, например, на шведских корветах серии «Stockholm» (2 ед., 1984–1985 гг., модернизированы в 1999–2000 гг.) используется трехвальная дизель-ГТУ, состоящая из двух дизелей MTU 2×1920 кВт и одного ГТД Allied Signal, мощностью 1×4715 кВт. Такой тип комбинированных ЭУ, как правило, используется на катерах и кораблях малого водоизмещения, где главные двигатели не связаны между собой механической или термодинамической связью, а работают каждый на свою линию вала.

На современных шведских корветах, построенных по стелс-технологиям серии «Visby» (водоизмещение – 640 т, 1999–2015 гг., 5 ед.), стала использоваться классическая ЭУ CODOG с механической связью между двигателями. Маршевая часть ГЭУ состоит из двух дизелей MTU 16V 2000 N90 мощностью 2×1300 кВт, а форсажная часть состоит из четырех газовых турбин TF 50A разработки компании Vericor Power Systems совместно с Honeywell Engines and Systems, мощностью 4×4000 кВт. На один вал через редуктор Cincinnati MA-107 SBS работают дизель и две газовые турбины. Газовые турбины и дизельные двигатели имеют очень компактные габаритные размеры и массу, соответственно 1395×890×1040 мм, 710 кг и 2920×1400×1290 мм и 4170 кг.

Особо следует выделить ЭУ малых многоцелевых боевых кораблей прибрежной зоны ВМС США, или Littoral Combat Ship (LCS), проектирование которых началось в начале 2000-х гг. Американский флот имеет два типа LCS с существенными конструктивными отличиями – «Freedom» (LCS-1, подрядчик – компания Lockheed Martin) и «Independence» (LCS-2, подрядчик – General Dynamics).

На кораблях LCS-1 «Freedom» (водоизмещение – 3140 т, 2005 г. – настоящее время, 9 ед., строится еще 5 ед.) используется схема CODOG, с раздельной работой маршевых и форсажных двигателей, где двигатели не связаны между собой механической связью, а работают каждый на свой водометный движитель производства компании Rolls-Royce. В качестве форсажных двигателей используются два ГТД RR MT30 мощностью 2×36000 кВт, а в качестве маршевых двигателей – два дизеля Colt Pielstick 16PA6B мощностью 2×6700 кВт.

На кораблях LCS-2 «Independence» (водоизмещение – 2780 т, постройки 2006 г. – настоящее время, 5 ед., всего планируется построить 12 ед.) также используется схема CODOG, с раздельной работой маршевых и форсажных двигателей. Двигатели так же, как и на LCS-1, не связаны между собой механической связью и работают каждый на свой водометный движитель производства компании Wärtsilä (2×Wärtsilä LJ160E и 2×Wärtsilä LJ150E). В качестве форсажных двигателей используются два ГТД GE LM2500 мощностью 2×21700 кВт, а в качестве маршевых двигателей – два дизеля MTU 20V8000 M90 мощностью 2×9000 кВт.

Таким образом, в настоящее время корабельная энергетика в развитых зарубежных странах переживает бум своего развития. Разработка и создание высокоэффективных дизельных и газотурбинных двигателей большой агрегатной мощности, а также современного силового электротехнического оборудования позволило конструкторам переосмыслить устоявшиеся взгляды в формировании облика ЭУ. Были созданы принципиально новые по типу, составу и схемному исполнению корабельные ЭУ, воплощающие в себе передовые технологии в области корабельного энергомашиностроения и электротехники.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ

Отечественный опыт появления и внедрения на кораблях газотурбинной энергетике имеет определенные отличия от зарубежного.

Постановлением Совета Министров СССР № 848–363 сс от 7 мая 1954 г. в г. Николаев на Южном турбинном заводе (ЮТЗ) было создана база для проектирования и серийного выпуска судовых ГТУ и образования в составе завода Специального конструкторского бюро газотурбинных установок (СКБ ГУ). С указанной даты начинается история отечественного корабельного газотурбостроения. В 1961 г. СКБ было выведено из состава ЮТЗ и получило название Союзное конструкторское бюро (СПБ) «Машпроект».

С 1954 по 1960 г. на базе авиационного двигателя ТРДВ-1 были выпущены первые отечественные ГТД М1, М3, Д2 и Д3, которые использовались в составе ускорительных двигателей в дополнение к основным дизельным двигателям на катерах. Их ресурс не превышал 1000 ч, и по этой причине они на кораблях широкого распространения не получили.

Первыми относительно надежными корабельными ГТД с ресурсом в 3000 ч, стали двигатели второго поколения М3, которые использовались в составе агрегата М3 в виде «спарки» двух

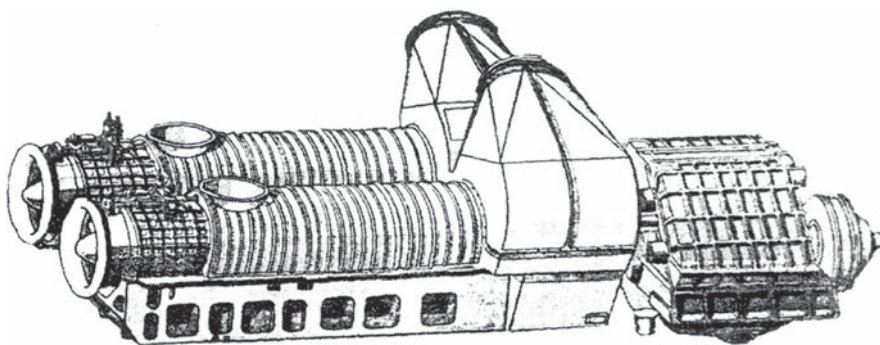


Рис. 14. Газотурбинный агрегат М3 БПК пр. 61 («спарка» 2 ГТД М3 на одном редукторе)

ГТД (рис. 14) одинаковой мощности (2×13250 кВт).

Впервые агрегаты М3 были установлены в 1961 г. на БПК пр. 61 «Комсомолец Украины», что практически на 12 лет раньше использования газо-газотурбинной установки на первом британском фрегате «Amazon» приблизительно такого же водоизмещения. Впоследствии, к 1966 г., конструкторами ресурс ГТД М3 был доведен до 6000 ч.

Таким образом, с начала 60-х гг. прошлого столетия был дан старт серийному строительству отечественных кораблей дальней морской зоны, оснащаемых ГТУ в виде «спарки» двух ГТД одинаковой мощности (COGAG).

Учитывая особенность ГТД, обусловленную невысокой экономичностью на частичных нагрузках, с 1965 г. в СПБ «Машпроект» начались проработки газотурбинных агрегатов М5 (рис. 15) и М7 (рис. 16) для противолодочных кораблей «Беркут» пр. 1134Б (водоизмещение – 8500 т, 1968–1979 гг., всего 8 ед.) и «Буревестник» пр. 1135 (водоизмещение – 3200 т, 1968–1981 гг., всего 32 ед.) со схемным исполнением COGAG, где маршевые и форсажные

двигатели стали значительно различаться по мощности.

Маршевые двигатели относительно небольшой мощности предназначались для обеспечения основного временного диапазона ходовых режимов кораблей – маршевых ходов, при отключенных форсажных двигателях. При таком режиме передвижения нагрузка двигателей составляла более 60–70% от номинальной, что обеспечивало кораблю относительно неплохую топливную экономичность. Скорости полного хода корабля обеспечивались совместной работой маршевых и форсажных двигателей.

В состав агрегата М5 (см. рис. 15) входили: один маршевый двигатель ДС-71 мощностью 1×5500 кВт и два форсажных двигателя ДН-59 мощностью 2×16900 кВт. На кораблях пр. 1134 Б устанавливалось два агрегата М5.

В состав агрегата М7 входили: два маршевых двигателя М-62, мощностью 2×3680 кВт и два форсажных двигателя ДК-59 мощностью 2×13250 кВт.

В агрегатах М7 конструкторы пошли еще дальше: впервые в мире была внедрена межредукторная перекидка (МРП), обеспечивающая работу одного

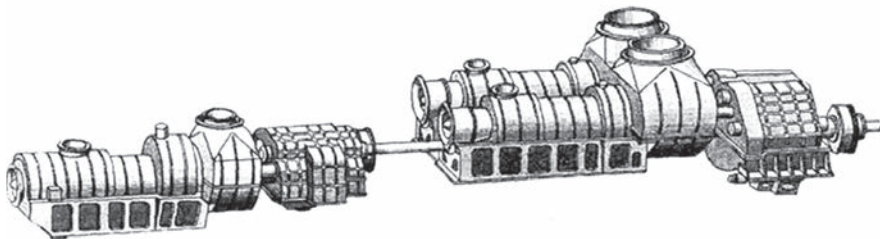


Рис. 15. Газотурбинный агрегат М5 БПК пр. 1134Б «Беркут»

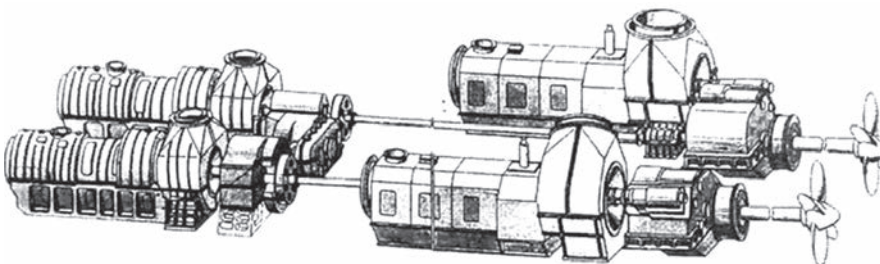


Рис. 16. Газотурбинный агрегат М7 СКР пр. 1135 «Буревестник»

маршевого двигателя на две линии вала (см. рис. 16). Такое техническое решение позволяло кораблям осуществлять поисковые малошумные режимы подводной лодки на достаточно малых ходах с высокой экономичностью ЭУ за счет работы одного двигателя на большой нагрузке.

За относительно короткий период, с 1971 по 1985 г., научно-производственным объединением СПб «Машпроект» был создан мощностной ряд высокоэкономичных газотурбинных двигателей третьего поколения, соответственно: М75 мощностью 3680 кВт (5000 л.с.); М70 мощностью 7360 кВт (10000 л.с.) и М90 мощностью 14 720 кВт (20 000 л.с.), которые с середины 70-х гг. начали активно внедряться на надводных кораблях дальней морской и океанской зоны.

Дальнейшим развитием агрегата М5 стала разработка агрегата М21 для ракетных крейсеров пр. 1164 «Атлант» (водоизмещение – 11 490 т, 1976–1993 гг., всего 4 ед.). По схемному исполнению ГЭУ агрегаты М21 не отличались от агрегатов М5 за исключением того, что маршевые двигатели оснащались паровым утилизационным контуром (ТУК), пар от которого поступал к паровой турбине мощностью ~ 1470 кВт (2000 л.с.), подключенной к редуктору маршевого двигателя, обеспечивающего их совместную работу.

В состав агрегата М21 входили: один маршевый двигатель М70 с ТУК мощностью 1×7355 кВт и два форсажных двигателя М90 мощностью 2×14 700 кВт. Сообразно используемому составу основного оборудования, схемное исполнение ГЭУ должно классифицироваться как СОGAS (англ. COmbined Gas And Steam turbine), название морских комбинированных силовых установок, включающих газовые и паровые турбины, последние приводятся в действие паром, генерируемым от использования тепла выхлопных газов газовых турбин). Практика эксплуатации кораблей показала низкую надежность паросилового блока такой схемы, и агрегаты, по сути, эксплуатировались в режиме схемного исполнения СОGAG (с совместной работой маршевых и форсажных ГТД).

Дальнейшим развитием агрегата М7 с МРП стала разработка агрегата М9 для БПК пр.1155 (водоизмещение – 7620 т, 1977–1991 гг., всего 12 ед.). В состав агрегата М9 входили: два маршевых двигателя М70 мощностью 2×6620 кВт и два форсажных двигателя ДТ59 мощностью 2×16560 кВт. Следующим шагом в развитии агрегата М9 стало создание агрегата М9 Н многоцелевого фрегата пр. 1155.1 «Адмирал Чебаненко» (водоизмещение – 8320 т, 1990–1998 гг., 1 ед.). В состав агрегата М9Н с МРП входили два маршевых двигателя М70, мощнос-

тью 2×6620 кВт и два форсажных двигателя М90, мощностью 2×18 580 кВт.

Нельзя не отметить активную работу в этот период АО «ЦМКБ «Алмаз» по внедрению газотурбинной энергетики на кораблях относительно небольшого водоизмещения. Специалистами АО «ЦМКБ «Алмаз» было выдано техническое задание СПб «Машпроект» на разработку следующих газотурбинных агрегатов:

- ДТ4 – для кораблей на воздушной подушке «Джейран» (постройки 1970–1985 гг.);
- МТ70 – для кораблей на воздушной подушке «Кальмар» (постройки 1972–1977 гг.);
- М34 – для кораблей на воздушной подушке «Омар» (постройки 1976–1980 гг.);
- М10 – для кораблей на подводных крыльях «Ураган» (постройки 1972–1980 гг.) и корабля на воздушной подушке «Сивуч» (постройки 1984–1997 гг.);
- М35 – для кораблей на воздушной подушке «Зубр» (постройки 1980–2014 гг.);
- М15 – для ракетных катеров «Молния» (постройки 1977–1986 гг.).

Проекты указанных кораблей представляли собой опытно-конструкторские разработки (ОКР) АО «ЦМКБ «Алмаз», а создание газотурбинных агрегатов входило в составные части соответствующих ОКР. Поэтому сопровождение разработки и создания агрегатов специалистами АО «ЦМКБ «Алмаз» осуществлялось практически на всех этапах, от рождения технической идеи и до сдачи объектов заказчику.

Особо следует отметить разработку агрегата М15 (рис. 17) для ракетных катеров пр.1241.1 «Молния» (водоизмещение – 469 т, 1979–1996 гг., всего построено более 80 ед. кораблей различных модификаций), уникального по компактности, маневренности и мощности, где также была реализована техническая идея межредукторной перекидки.

В состав агрегата М15 входили ГТД третьего поколения, в частности, два маршевых двигателя М75 мощностью 2×3680 кВт и два форсажных двигателя М70 мощностью 2×8830 кВт.

Кроме того, благодаря усилиям АО «ЦМКБ «Алмаз», в начале 1980-х гг. впервые в отечественном ВМФ была создана классическая дизель-газотурбинная ЭУ с обеспечением совместной работы дизеля и газовой турбины на одну линию вала схемного исполнения СОDAG. Она предназначалась для ракетных катеров проектов 12411, 12418, 12421 и состояла из двух форсажных ГТД М70 мощностью 2×8830 кВт и двух маршевых дизельных агрегатов М-510 мощностью 2×2940 кВт (каждый из дизельных агрегатов состоял из дизеля М-504 с двухскоростным редуктором и гидротрансформатора, предназначенного для совместной работы дизеля и газовой турбины).

Аналогичные установки за рубежом, как было отмечено выше, впервые были созданы для европейских фрегатов еще в начале 1960-х гг. Причина столь позднего развития дизель-газотурбинной энергетики на кораблях ВМФ состоит в том, что у нас вплоть до начала XXI в. не были разработаны эффективные высокооборотные и среднеоборотные дизельные двигатели для использования на кораблях классов корвет, фрегат и эсминец. Дизельные энергетические установки завода «Звезда», изначально занимавшие доминирующее положение на торпедных и ракетных катерах, малых ракетных кораблях, противолодочных кораблях и тральщиках, обладали незначительным ресурсом до переборки (не более 2000–3000 ч), причем переборка могла осуществляться только в заводских цеховых условиях, что для флота представляет сильное неудобство. Поэтому создание эффективных высокооборотных и среднеоборотных дизелей большой агрегатной мощности и моторесурса для внедрения на многоцелевых боевых кораблях является первоочередной задачей для отечественного корабельного энергомашиностроения.

В силу осознания такой необходимости, специалистами АО «ЦМКБ «Алмаз» в 1992 г. были разработаны и выданы промышленности технические задания на дизель-газотурбинный агрегат М55 Р для проектируемого корабля «Гром» схемного исполнения СОDAG. В состав агрегата включались:

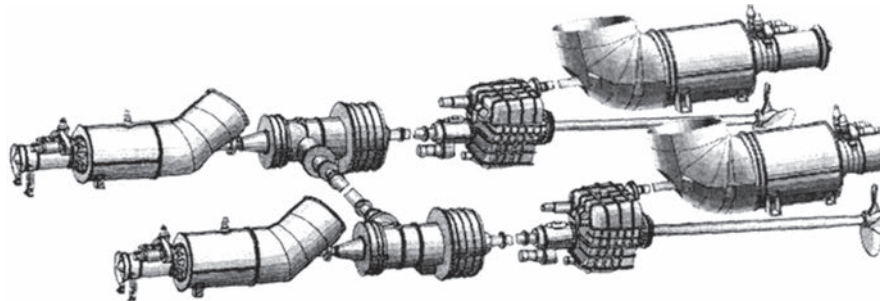


Рис. 17. Газотурбинный агрегат М15 ракетного катера пр. 1241.1 «Молния»

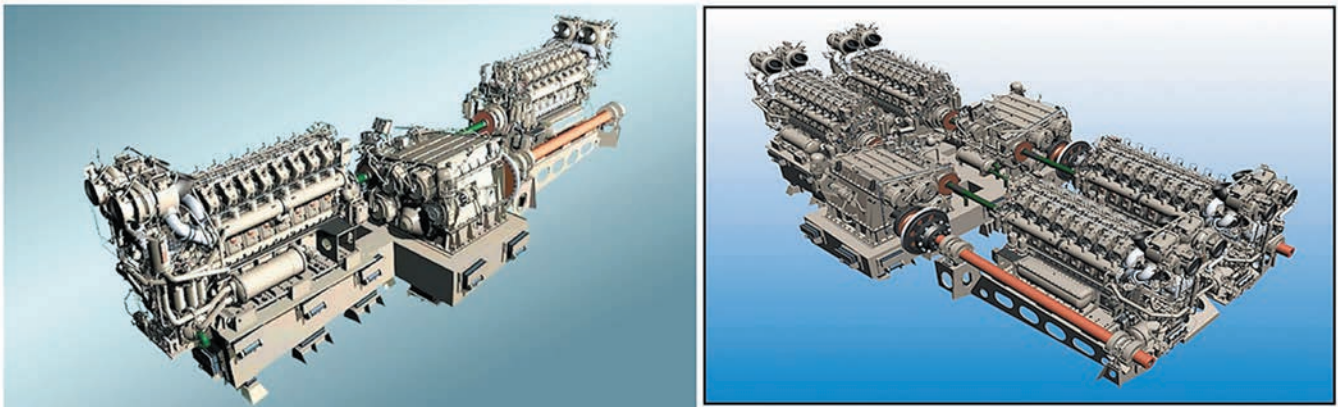


Рис. 18. Дизель-дизельный агрегат 1ДДА 12000

ГТД 4-го поколения М90 ФР мощностью 20 200 кВт, главный дизель 10Д49 (16ЧН 26/26) мощностью 3825 кВт, реверсивный редуктор РО-55 и системы управления. К 2002 г. были созданы и прошли предварительные испытания ГТД М90ФР, редуктор РО-55 и дизель 10Д49. Главным исполнителем ОКР было ООО «Турборус». В дальнейшем, в связи с прекращением строительства корабля «Гром», все работы по созданию агрегата М55 Р АО «ЦМКБ «Алмаз» были переданы АО «Северное ПКБ» для использования на фрегате пр. 22350. Агрегат М55Р стал первым полноценным дизель-газотурбинным агрегатом, по характеристикам не уступающим мировым аналогам.

Позднее АО «ЦМКБ «Алмаз» были разработаны многоцелевые корветы проектов 20380 и 20885 с использованием дизель-дизельной ЭУ схемного исполнения CODAD. В 2001 г. бюро было выдано техническое задание ОА «Коломенский завод» на разработку дизель-дизельного агрегата 1ДДА 12000 для кораблей пр. 20380. Работы были начаты в 2001 г. и завершены в 2006 г.

Дизель-дизельный агрегат 1ДДА 12000 (рис. 18) полной мощностью 12 000 л.с. (8832 кВт) предназначен для использования в составе главной ЭУ кораблей последнего поколения класса корвет для работы на гребной винт фиксированного или регулируемого шага. Агрегат укомплектован двумя современными дизелями 16Д49 (16ЧН 26/26) мощностью по 6000 л.с. (4412 кВт), каждый из которых имеет двухскоростную редукторную передачу, обеспечивающую совместную и раздельную работу дизелей со звукоизолирующей композитной муфтой, локальную систему управления, защиты и контроля, построенную на микропроцессорной базе. Микропроцессорная система управления позволяет выравнять нагрузку по дизелям, осуществлять режимы реверса и отключать, при необходимости, один из дизелей.

При разработке корвета пр. 20385 было принято решение об использовании в составе ГЭУ импортных комп-

лекующих производства ФРГ, в частности, главных дизельных двигателей 16V 1163 ТВ93 мощностью 5920 кВт, редукторов фирмы «Renk», валопроводов и винтов регулируемого шага фирмы «Andritz Hidro».

По техническим требованиям бюро были изготовлены главные двигатели, редукторы, валопроводы и винты регулируемого шага (ВРШ). Однако после введения санкций к России в 2014 г. все работы были прекращены, и корветы пр. 20385 были перепроектированы под использование агрегатов 1ДДА 12000, а ВРШ и валопроводы для кораблей данной серии при активном участии бюро были разработаны для производства в России.

По мере роста водоизмещения многоцелевых корветов, обусловленного переносом зоны их ответственности далеко за пределы ближней морской зоны, перед конструкторами АО «ЦМКБ «Алмаз» встала задача по наращиванию мощности ГЭУ. Так, например, для обеспечения скоростей хода 24–26 уз кораблей водоизмещением 2400–2800 т, мощность ГЭУ должна составлять 18 000–24 000 кВт. По указанной причине на корветах проектов 20380 и 20385 применены форсированные дизель-дизельные ЭУ.

Ужесточение требований к тактико-техническим характеристикам кораблей, увеличение их водоизмещения и скорости полного хода до 30 уз и более приводит к необходимости значительного увеличения мощности ГЭУ. Обеспечение таких требований возможно только при включении в состав ГЭУ ГТД. Для решения этой задачи конструкторами АО «ЦМКБ «Алмаз» при проектировании перспективного корвета пр. 20386 «Меркурий» впервые в истории отечественного ВМФ было обосновано применение дизель-газотурбинной ЭУ с частичным электродвижением, схемного исполнения CODLOG. Были разработаны и выданы ПАО «ОДК-Сатурн» технические задания на составную часть опытно-конструкторской работы (СЧ ОКР) по созданию газотурбинного агрегата МА3 (рис. 19), в состав которого входят: два ГТД 4-го поколения М90 ФР в капоте, мощностью 2×20 200 кВт, а также редукторный комплекс 6РП производства ПАО «Звезда».

Для создания системы электродвижения корабля НПС СЭС (г. Санкт-Петербург) были выданы технические задания на СЧ ОКР по разработке гребных электродвигателей АДР-1600–8 мощностью 2×1600 кВт, а ООО «Уральский дизель-моторный завод» – технические задания

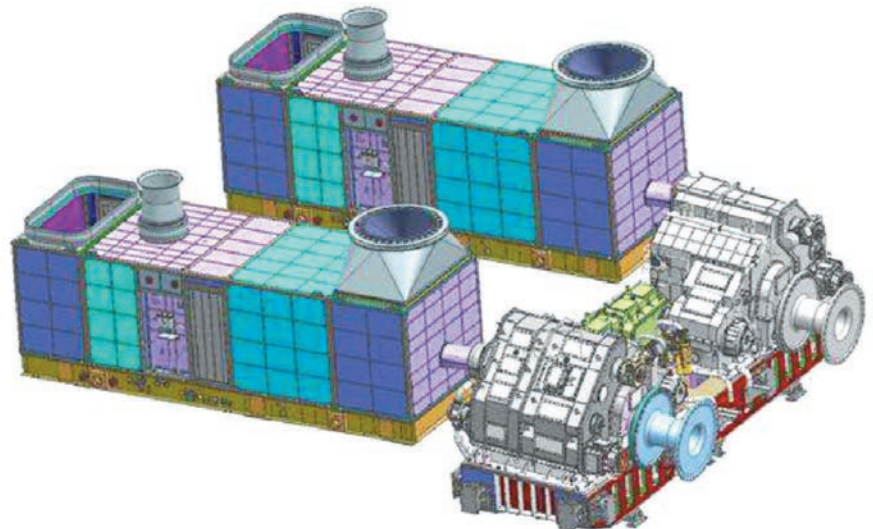


Рис. 19. Газотурбинный агрегат МА3

на СЧ ОКР по разработке дизель-генераторов ДГАС-1600 и ДГАС-800 на основе дизельных двигателей нового поколения 12ДМ-185 и 8ДМ-185. Ожидается, что все работы по созданию агрегата МАЗ, гребных электродвигателей и дизель-генераторов будут завершены в текущем году и изделия будут отгружены на ПАО «Судостроительный завод «Северная верфь» для монтажа внутри корпуса корабля.

Разработанная АО «ЦМКБ «Алмаз» ЭУ корвета пр. 20386 схемного исполнения CODLOG (рис. 20) по основным техническим характеристикам не только не уступает лучшим мировым аналогам (фрегатам серий FREMM, F-125 и 26 «Global Combat Ship»), символизирующим пик развития корабельной энергетики, но и является первым мировым аналогом среди многоцелевых боевых кораблей относительно небольшого водоизмещения класса корвет, где удалось реализовать идею дизель-электрической передачи крутящего момента на винт на маршевых ходах. Водоизмещение соответствующих зарубежных аналогов в 2 раза и более превышает водоизмещение корвета «Меркурий».

Особенностью схемного исполнения ЭУ корвета «Меркурий» является наличие в составе редукторного комплекса БРП межредукторной перекидки, обеспечивающей работу любого ГЭД либо любого ГТД на обе линии вала, что повышает надежность, живучесть и экономичность энергетической установки. Единственное отличие ЭУ от указанных выше западных аналогов состоит в использовании двух ГТД вместо одного, как это принято на зарубежных кораблях. Такое решение является следствием отсутствия на сегодняшний день отечественных корабельных ГТД высокой агрегатной мощности – до 35 МВт и более таких, как западные аналоги GE LM2500+G4 или RR MT30. В остальном, в плане схемного исполнения ЭУ и принятых технических решений по типу, составу, характеристикам основного оборудования и степени автоматизации, можно утверждать, что с созданием ЭУ корвета «Меркурий» мы подтверждаем статус передовой морской державы в области кораблестроения и корабельной энергетики.

Нельзя не отметить, что усилия ученых, конструкторов и инженеров АО «ЦМКБ «Алмаз» направлены на оснащение проектируемых кораблей передовым оружием, вооружением и техникой. Благодаря этим усилиям ВМФ РФ остается конкурентным ведущим морским державам не только по боеспособности кораблей, но и в плане соответствия лучшим мировым аналогам внедряемой на кораблях энергетики.

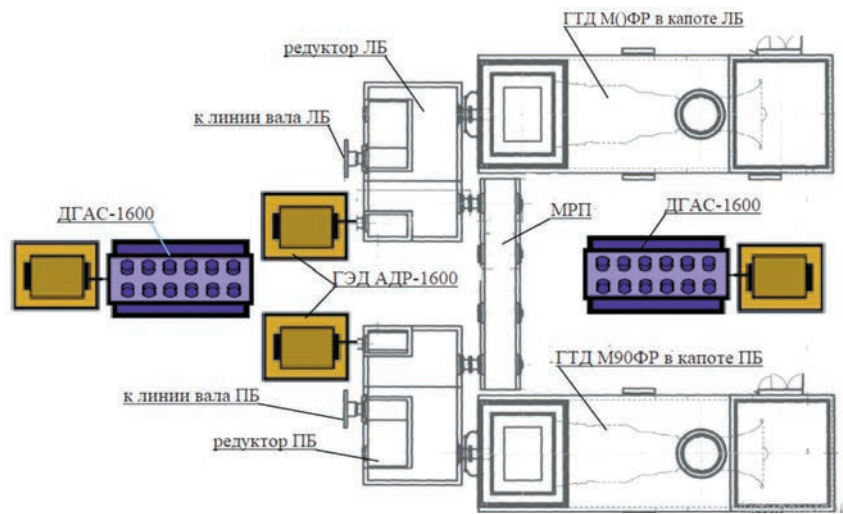


Рис. 20. Структурная схема энергетической установки схемного исполнения CODLOG корвета «Меркурий»

За последние более чем 50 лет в АО «ЦМКБ «Алмаз» была проделана огромная работа по внедрению на кораблях ВМФ ГТД, появившихся в конце 50-х – начале 60-х гг., и агрегатов, созданных на их основе. Благодаря разработкам бюро на боевых кораблях появились первые комбинированные дизель-газотурбинные ЭУ, получившие широкое распространение на зарубежных флотах. Венцом развития корабельной энергетики стало создание перспективной установки с частичным электродвижением схемного исполнения CODLOG для корвета «Меркурий», которая по своим технико-экономическим характеристикам несколько не уступает мировым аналогам.

В заключение, характеризуя тенденции развития схемного исполнения ЭУ многоцелевых надводных кораблей, следует отметить, что в начале XXI в. кардинально изменились устоявшиеся с начала 70-х – середины 80-х гг. взгляды конструкторов на формирование облика ЭУ. Канули в прошлое устаревшие газо-газотурбинные ЭУ схемного исполнения COGAG, маршевая часть ЭУ стала замещаться исключительно дизельными двигателями взамен ранее устанавливаемых газотурбинных. Более того, в обеспечение малозумных поисковых режимов ЭУ при решении кораблем задач ПЛО вместо прямодействующих приводов от дизеля (через редуктор) на винт повсеместно стали использовать дизель-электрические приводы, где дизели используются в качестве приводов генераторов, а передача крутящего момента на винт осуществляется за счет гребных электродвигателей. На современных и перспективных кораблях наблюдается абсолютное доминирование ЭУ схемного исполнения CODLOG или CODLAG.

Явно проявляющейся тенденцией в архитектуре схемного исполне-

ния ЭУ многоцелевых кораблей стала минимизация количества устанавливаемых форсажных ГТД. На перспективных фрегатах серий FREMM, F-125 и пр. 26 используется только один ГТД агрегатной мощностью 35 МВт и более. Причиной, побуждающей конструкторов кардинально пересмотреть взгляды по формированию облика корабельных ЭУ, стало создание компактных высокооборотных и среднеоборотных корабельных дизельных двигателей большой агрегатной мощности и значительного моторесурса, обеспечивающего их использование в течение всего жизненного цикла корабля, а также создание мощных и компактных корабельных ГТД 5-го поколения, которые отличаются эффективностью и надежностью при лучшем соотношении мощности и массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров И. Г., Шляхтенко А. В. Корветы: Концептуальное проектирование. – СПб.: ООО «Береста», 2012. – 228 с.
2. Шляхтенко А. В., Захаров И. Г. Тенденции развития многоцелевых кораблей океанской зоны // Национальная оборона. – 2019. – № 7 (июль). – С. 86–90.
3. Шинкоренко Д. Перспективы развития энергетических установок надводных кораблей ВМС зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. – 2007. – № 1. – С. 54–61 и № 3. – С. 58–61.
4. Шинкоренко Д. Разработка новых энергетических установок за рубежом – шаг к кораблям нового поколения // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 11. – С. 62–70.
5. Хализов А. Перспективный фрегат проекта F-125 ВМС Германии // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 5. – С. 67–74.
6. Barcellos R. The hybrid propulsion system as an alternative for offshore vessels servicing and supporting remote oil field operations. – In: Proceedings of the annual offshore technology conference, 2013, vol. 3. ■

АО «Компрессор» – единственный в стране поставщик специализированных компрессоров и компрессорного оборудования всех типов и назначений для многих других отраслей промышленности, в том числе:

- для нужд ВМФ;
- для гражданских судов;
- для металлургической, нефтяной, химической, пищевой и других отраслей промышленности;
- для ракетных комплексов войск стратегического назначения и ПВО;
- для обслуживания оборудования ракет-носителей и наземных систем в ракетно-космическом комплексе;
- для энергетического комплекса и атомной энергетики.
- для РЖД;
- для газовой промышленности.

География поставок: Россия, страны СНГ, Германия, Финляндия, Норвегия, Индия, Иран, КНР, Корея, Алжир, Ливия, ОАЭ, Куба и др.

АО «Компрессор» имеет специализированное конструкторское бюро и производственную базу для создания современного компрессорного оборудования, а также развитую сеть представительств службы сервисного и гарантийного обслуживания.

Одной из сфер деятельности предприятия является создание воздушных роторных станций и компрессорных установок для получения воздуха низкого давления. Для этих целей в настоящее время широко применяются винтовые компрессоры, однако появились эти компрессоры значительно позже поршневых.

Так, первым в отечественной истории поршневым компрессором можно считать созданную И. И. Ползуновым в 1765 г. одноступенчатую машину для сжатия и перемещения газа. В 1862 г. один из основателей завода «Компрессор» С. И. Барановский изобрел воздушосжиматель [1] для сжатия воздуха до 50 атм. Данные компрессоры использовались на первом отечественном железнодорожном локомотиве – «Духоходе», двигатель которого приводился в движение не паром, а сжатым воздухом [2].

В настоящее время роторные компрессоры находят широкое распространение в различных отраслях промышленности, транспорта, энергетики и пр. в качестве источника снабжения сжатым воздухом пневматического инструмента и оборудования, а также для сжатия и транспортировки различных газов. Отсутствие в роторном компрессоре деталей, совершающих возвратно-поступательное движение, позволяет развить высокие скорости вращения роторов, что обеспечивает получение относитель-

РОТОРНЫЕ КОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ КОРАБЛЕЙ ВМФ, ГРАЖДАНСКОГО ФЛОТА, НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА И ЭНЕРГЕТИКИ

Л.Г. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., ген. конструктор, председатель Совета директоров,

А.В. Бураков, начальник ЦКБ,

Н.А. Котлов, начальник отдела винтовых компрессоров,

А.А. Семенов, вед. инженер,

АО «Компрессор»,

контакт. тел. (812) 295 5090

но высокой производительности при малых размерах оборудования. Это предопределяет большую экономию в его весе и габаритах.

На заводе «Компрессор» разработкой и изготовлением первых образцов винтовых компрессоров начали заниматься в 50-х гг. прошлого века. Тогда был организован отдел винтовых компрессоров, коллективом которого в 1953 г. разработан первый винтовой компрессор марки ВК (рис. 1), а в 1955 г. изготовлена головная партия компрессоров этой марки.

В последующем на заводе «Компрессор», в том числе на других компрессоростроительных предприятиях бывшего

СССР, разработаны и внедрены в производство винтовые компрессоры «сухого» сжатия, маслозаполненные винтовые компрессоры, винтовые компрессоры с впрыском воды в полость сжатия, холодильные винтовые компрессоры, передвижные компрессорные станции на базе винтовых компрессоров.

В табл. 1 приведена номенклатура винтовых компрессоров, разработанных заводом «Компрессор» в разные периоды.

В настоящее время АО «Компрессор» поставляет винтовые компрессоры серии ВК для судов и кораблей, для железнодорожного транспорта, блочные компрессорные станции, выполненные

Таблица 1
Винтовые компрессоры, разработанные АО «Компрессор»

Марка	Производительность по условиям всасывания, м ³ /мин	Давление нагнетания, МПа	Сжимаемый газ	Мощность привода, кВт
ВК	63,0	0,35	Воздух	200
ВК6	12,5	1,05	« »	90
ВК9	51,5	0,35	Хлор	200
ВК10	16,0	0,65	Воздух	90
12 ВК	100,0	0,25	« »	250
16 ВК	100,0	0,21	Сатурационный газ	200
18 ВК	100,0	0,8	Воздух	500
ВК5	90,0	0,47	Углекислый газ	400 (турбина)
ВК7	217,0	0,47	Смешанный газ извести-ковых и содовых печей	860 (турбина)
ВК8	434	0,47	Углекислый газ	1720 (турбина)
ВК11	25,0	0,8	Воздух	160
13 ВК	30,0	1,2	« »	250
15 ВК	6,3	1,1	Газонефтяная смесь	75
21 ВК	12,0	3,0	То же	630
АВК-400	Холодопроизводительность 400 000 ккал/ч	–	Аммиак	110
ПВ10	10,0	0,8	Воздух	94 (дизель)
ПВ25	25,0	0,8	«	235 (дизель)

на базе винтовых компрессоров различного типа, ведутся работы по созданию типоряда специализированных роторных компрессоров типа «Рутс» для атомной промышленности.

Для газовой промышленности были разработаны блочные контейнерные установки. Блочная воздушная компрессорная станция (БВКС) предназначена для подачи сжатого воздуха в качестве барьерного, в концевые лабиринтные уплотнения системы газовых уплотнений (далее – СГУ) нагнетателя газоперекачивающего агрегата (далее – ГПА), для запираания утечек газа, проходящих через первичные уплотнения ротора нагнетателя, или подачи сжатого воздуха к технологическому оборудованию. БВКС полностью автоматизированы и не требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала при эксплуатации, имеют разрешение на применение РМРС, ФСЭТАН, ТР ТС 010/2011. Номенклатура отгруженных БВКС приведена в табл. 2.

С целью удовлетворения потребности в компрессорах для судостроения в рамках работы по импортозамещению пневмоомывающих устройств (ПОУ) в 2018 г. АО «Компрессор» разработало для применения в составе ПОУ для пр.22600 компрессоры КСС45 и ВКУ250М [3].

Компрессор КСС45 – винтовой одноступенчатый, «сухого» сжатия, с приводом от электродвигателя через упругую муфту. Оснащен системой автоматического управления, системой воздушного охлаждения и другими вспомогательными системами и оборудованием. Все системы компрессора КСС45 смонтированы на единой раме и помещены в звукоизоляционный кожух с быстроремонтируемыми панелями.

Компрессор ВКУ250М – роторный одноступенчатый, типа «Рутс», с приводом от электродвигателя через ременную передачу. Оснащен системой автоматического управления, подогревателем всасываемого воздуха и другими вспомогательными системами и оборудованием. Все системы компрессора ВКУ250М, за исключением САУ, смонтированы на единой раме и помещены в звукоизоляционный кожух с быстроремонтируемыми панелями, шкаф САУ поставляется комплектно с компрессором для монтажа на месте эксплуатации. Сигнал на пуск и останов компрессора для работы в автоматическом режиме может быть подан с местного шкафа управления и дистанционно из судовой системы автоматики. Предусмотрена выдача в судовую систему управления обобщенных сигналов состояния компрессора, а также расшифровывающих сигналов о неисправности по протоколу RS-485. Пуск и останов компрессора в автоматическом

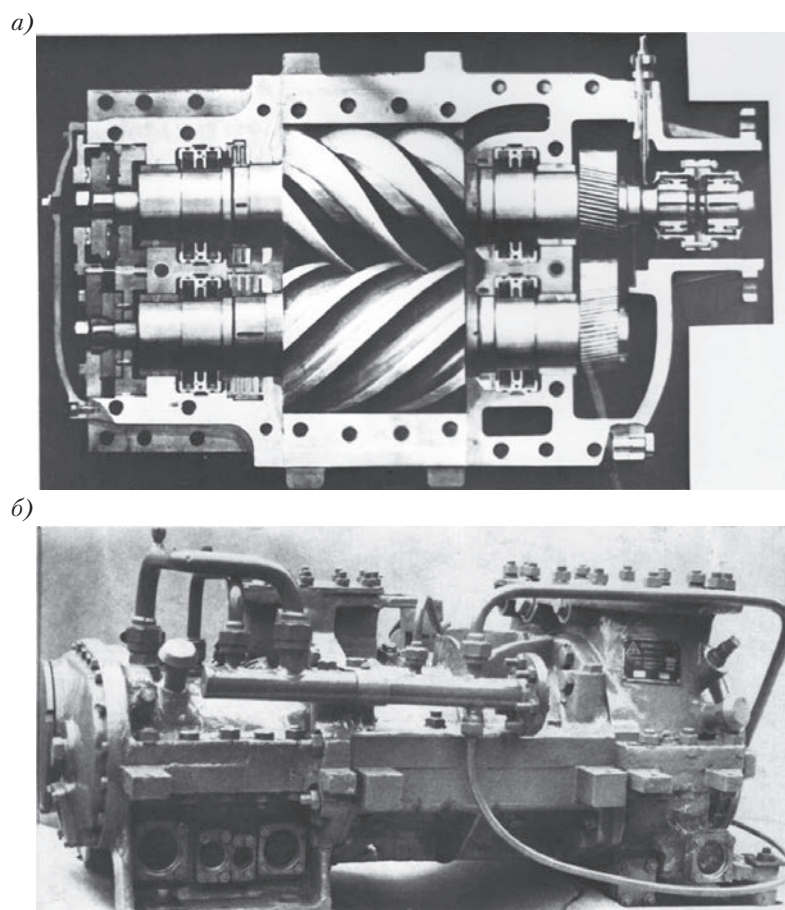


Рис. 1. Компрессор марки ВК (а) и марки ВК5 (б)

Таблица 2

Блочные компрессорные установки АО «Компрессор»

Марка, год выпуска	Производительность, м ³ /ч	Давление нагнетания, МПа	Объект	Мощность, кВт	Размеры, м; масса, т
БВКС300 (2008)	380–1150	0,85–1,3	КС «Ржевская», Ямал – Европа	100	8,2×2,5×3; 13,5
БВКС500 (2009)	1080	0,65–1,3	КС «Арская», Ямал – Европа	190	8,2×2,5×3; 13,5
БВКС300/900 (2010)	1200	0,75	КС «Грязовецкая» СЕГ 1	190	12×2,9×3; 26
БВКС300/900 (2011)	1200	0,75	КС «Грязовецкая» СЕГ 2	190	12×2,9×3; 26
БВКС300 (900)В (2012)	1700	0,75	КС «Волховская» СЕГ 2 нитка	350	12×5,9×3; 33;
БВКС-500 М (2012)	500	0,47	ПЭБ, пр. 20870, «Росатом»	50	6×2,4×2,8; 8;
БВКС300 Н (2013)	300	0,8	КС «Новосиндорская», «Новоприводинская», Ухта-Торжок-1, «Невское ПХГ»,	70	12×2,9×3; 14;
БВКС-100 (2017)	100	0,8	Бованенковское НГКМ	70	6×2,4×2,8; 7
БВКС-900 (2018)	300	0,8	Ледостойкая стационарная платформа м/р им.В. Филановского (см. рис. 2)	70	3×2,5×2,5; 5
БВКС550 (2018)	550	0,8	АО «Арктикгаз», Уренгойское месторождение	90	12×2,9×3; 21;

ческом режиме осуществляется по максимальному и минимальному давлению в сети, значения которых настраиваются на панели оператора местного шкафа управления.

Основные технические характеристики компрессоров КСС45 и ВКУ250М приведены в табл. 3.

Учитывая потребности заказчиков, АО «Компрессор» разработало и выполнило поставку системы ПОУ для пр. 22600, которая включает:

- три компрессора КСС45, предназначенных для выработки сжатого воздуха;
- три подогревателя всасываемого атмосферного воздуха; устанавливаются в судовых воздуховодах и предназначены для подогрева всасываемого воздуха при температуре ниже -5°C . Поставляются с собственными приборами управления;
- прибор управления оборудованием ПОУ; устанавливается в машинном отделении и предназначен для управления работой оборудования ПОУ в ручном, автоматическом и дистанционном режиме;
- комплект воздушных заслонок с электроприводами; устанавливаются в нагнетательных трубопроводах ледокола и предназначены для распределения сжатого воздуха, поступающего от компрессоров, по бортам ледокола.

Для пр. 23380 АО «Компрессор» под специальные требования разработало и изготовило винтовые маслозаполненные компрессоры ВКУ200М с приемкой РМРС. Его отличительная особенность – наличие встроенной системы рекуперации тепла, а также выносного вентилятора подачи воздуха охлаждения, который монтируется в воздуховоде заказа.

Технические характеристики компрессора ВКУ200М приведены ниже.

Основные технические характеристики ВКУ200М

Параметр	Значение
Производительность на выходе, не менее, $\text{м}^3/\text{ч}$	1920
Давление МПа (абс.): начальное.....	Атмосферное
конечное.....	0,90
Температура, $^{\circ}\text{C}$: начальная.....	От -26 до $+35$
конечная, не более	60
Мощность основного электродвигателя, кВт	200
Параметры питающей сети	3 ф 380 В, 50 Гц
Охлаждение.....	Воздушное
Масса, кг.....	4500
Габариты, мм.....	3164×1965×2880

Компрессор ВКУ200М (рис. 4) – винтовой одноступенчатый маслозаполненный, с приводом от электродвигателя через упругую муфту. Оснащен системой автоматического управления,



Рис. 2. Блочная воздушная станция BVKC-900 на платформе месторождения им. В. Филановского

Таблица 3

Основные технические характеристики КСС45 и ВКУ250М

Параметр	Марка компрессора	
	КСС45 (рис. 3, а)	ВКУ250М (рис. 3, б)
Производительность, не менее, $\text{м}^3/\text{ч}$	850	5300
Давление конечное (абс.), МПа	0,22	0,20
Температура, $^{\circ}\text{C}$: начальная	От $+5$ до $+35$ (первоначальный запуск возможен при температуре всасываемого воздуха до -40°C);	От минус 26 до $+35$
конечная, не более	150	130
Мощность основного электродвигателя, кВт	55	250
Параметры питающей сети	3 ф 380 В, 50 Гц	
Охлаждение	Воздушное	
Масса, кг	1500	4200
Габаритные размеры, мм	1800×1000×1500	2170×2000×2650

системой рекуперации тепла и другими вспомогательными системами и оборудованием. Все системы этого компрессора смонтированы на единой раме и помещены в звукоизоляционный кожух с быстръемными панелями.

Система автоматического управления ВКУ200 М обеспечивает ручное и автоматическое управление работой компрессора, его защиту и сигнализацию в соответствии с требованиями Правил РМРС.

Сигнал на пуск и останов компрессора для работы в автоматическом режиме может быть подан с местного шкафа управления и дистанционно из судовой системы автоматики. Пуск и останов компрессора в автоматическом режиме осуществляются по максимальному и минимальному давлению в сети, значения которых настраиваются на панели оператора местного шкафа управления.

В судовую систему передаются обобщенные сигналы: «Готовность к работе», «Работа», «Авария».

При работе компрессора на дисплее панели управления отображают-

ся текущие значения параметров, при аварийном останове расшифровывается его причина. В системе автоматического управления предусмотрена выдача в судовую систему управления обобщенных сигналов состояния компрессора, а также расшифровывающих сигналов неисправности по протоколу RS-485.

Учитывая перспективные потребности, АО «Компрессор» разработало типоряды винтовых компрессоров «сухого» сжатия и маслозаполненных винтовых компрессоров для систем ПОУ, систем рабочего воздуха и других систем в морском исполнении с воздушным и водяным охлаждением.

Накопленный опыт в этой области позволяет предприятию в кратчайший срок изготавливать любые установки с оптимальным набором технологического оборудования для надежной эксплуатации и подтверждения заявленных характеристик с учетом конкретных требований к производительности, давлению нагнетания, условиям эксплуатации конкретного объекта.

а)



б)



Рис. 3. Компрессор марки КСС45 (а) и марки ВКУ250М (б)



Рис. 4. Компрессор марки ВКУ200М

Целью отечественных предприятий, входящих в судостроительный кластер, является постройка кораблей и судов без использования иностранного судового комплектующего оборудования, что требует разработки и внедрения отечественной востребованной продукции с качественно новыми характеристиками на основе собственных передовых технологий. АО «Компрессор» для внедрения конкурентоспособных отечественных судовых компрессоров создает научно-технический задел [4–7], разрабатывает конструкторскую и технологическую документацию, внедряет на предприятии новое технологическое оборудование, аттестованные испытательные стенды и сертифицированное оборудование на соответствие требованиям РМРС и ТР ТС.

В сложный период для отечественной промышленности судостроительным и машиностроительным предприятиям необходимо объединиться и направить ресурсы на решение общей задачи российского судостроения, что может быть достигнуто путем стабильной закупки отечественного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барановский С. И. Воздухосжиматель // Промышленность. – Кн. 4. – 1862, с. 82–86.
2. История производственного объединения «Компрессор» / Сост. Г. Ф. Каратаев. – Л.: Изд. ПО «Компрессор», 1988.
3. Источник сжатого воздуха системы воздушной смазки подводной части корпуса судна / Л. Г. Кузнецов, Ю. Л. Кузнецов, А. В. Бураков, Н. А. Котлов. – Патент на полезную модель № 183205 U1 (Российская Федерация), МПК В63В 35/08, В63В 1/38; № 2018124380. Заявл. 04.07.2018, опубл. 13.09.2018.
4. Роторный нагнетатель / Л. Г. Кузнецов, Ю. Л. Кузнецов, А. В. Бураков. – Патент № 2660701 С1 (Российская Федерация), МПК F04C 18/12; № 2017135119. Заявл. 04.10.2017, опубл. 09.07.2018.
5. Повышение эффективности роторных компрессоров / Л. Г. Кузнецов, Ю. Л. Кузнецов, А. В. Бураков, Н. А. Кудла // Науч.-техн. ведомости СПбПУ: Естественные и инженерные науки. – 2019. – Т. 25. – № 1. – С. 101–110. – DOI 10.18721/JEST.25110.
6. Винтовой однороторный маслозаполненный компрессор / Л. Г. Кузнецов, Ю. Л. Кузнецов, В. А. Пронин и др. – Патент на полезную модель № 199030 U1 (Российская Федерация), МПК F04C 18/16; № 2020114579. Заявл. 21.04.2020, опубл. 07.08.2020.]
7. Агрегат компрессорный винтовой / Л. Г. Кузнецов, Ю. Л. Кузнецов, А. В. Бураков и др.; заявитель АО «НПО «Компрессор». – Патент на промышленный образец № 119625 (Российская Федерация); № 2019504511. Заявл. 14.10.2019, опубл. 29.04.2020. ■

В настоящее время актуальной задачей является создание полусферического иллюминатора на рабочее давление более 60 МПа. Под иллюминатором будем понимать сборку светопрозрачного элемента и обоймы с помощью вспомогательных элементов. Конструктивно желаемого результата можно достичь двумя основными способами: методом соединения стеклоэлемента с обоймой и определением ее геометрических параметров, которые обеспечивают в результате деформации обоймы в процессе приложения гидростатического давления необходимое напряженное состояние стеклоэлемента [1]. В работах [2–5] проведен анализ методов соединения и оценки конструктивных параметров обжимной шайбы. В данной работе приведена возможная методика оценки геометрических параметров обоймы иллюминаторов высокого давления для подводных конструкций небольших размеров (например, светильников или боксов для визуального наблюдения) для необитаемых аппаратов.

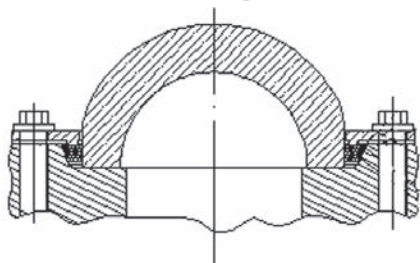


Рис. 1. Схема соединения стеклоэлемента с металлической обоймой

В качестве материала стеклоэлемента в данном случае применяют в основном органическое стекло или лейкосапфир. Максимальные окружные напряжения, возникающие на внутренней поверхности стеклоэлемента, в случае использования органического стекла выше предела пропорциональности на диаграмме «напряжения–деформация» даже при толщине, соизмеримой с его внутренним радиусом. Это приводит к значительным перемещениям и ползучести стеклоэлемента при длительном воздействии гидростатического давления. Поэтому задача более равномерного распределения напряжения по толщине является актуальной.

Рассмотрим методику оценки необходимых параметров обоймы иллюминатора на примере его соединения с силовым корпусом, где возможны взаимные перемещения сопрягаемых элементов. По такой схеме соединения выполняются в настоящее время подводные осветительные и визуальные приборы (телевизионные и фотобоксы). В таких конструкциях диаметр иллюминатора, как правило, превышает диаметр корпуса прибора. Рассмотрим силы, действующие на конструкцию в

О РАЗРАБОТКЕ СФЕРИЧЕСКОГО ИЛЛЮМИНАТОРА С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ ОБОЙМЫ

Н.М. Вихров, д-р техн. наук, проф., ген. директор ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»,

В.П. Ляизберг, канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотрудник, начальник науч. группы МАИ (Национального исследовательского университета), контакт. тел. (812) 746 9852, +7 (915) 222 2977

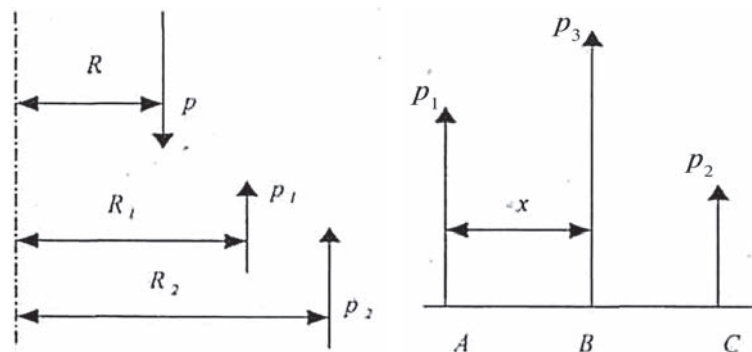


Рис. 2. Схемы распределения нагрузок на иллюминатор в сборе: слева – распределение эквивалентной нагрузки от стеклоэлемента на обойму иллюминатора, справа – эквивалентная нагрузка от корпуса (цилиндра) на обойму иллюминатора

сборе в этом случае. Возникающие в результате воздействия гидростатического давления на обойму в сборе силы на площади поперечного сечения большей горизонтальной проекции полусферического стеклоэлемента S самоуравновешиваются. Сила P , возникающая в результате воздействия гидростатического давления на стеклоэлемент, равна $2\pi R p$, где $p = \frac{p_0 \pi R_{нар}^2}{2\pi R} = p_0 \frac{R_{нар}^2}{2R}$, p_0 – величина гидростатического давления, $R_{нар}$ – наружный радиус стеклоэлемента, равный

$$R = \frac{\int_{R_{нар}}^{R_{вн}} r \sigma_t(r) dr}{\int_{R_{нар}}^{R_{вн}} \sigma_t(r) dr},$$

$R_{вн}$ – внутренний радиус стеклоэлемента, $\sigma(r)$ – нормальные напряжения, возникающие по толщине стеклоэлемента.

Сила P уравновешивается двумя силами: P_1 и P_2 . Сила P_1 – результирующая от воздействия гидростатического давления на площади поперечного сечения S_1 , равной горизонтальной проекции наружной поверхности цилиндрического корпуса.

Примем, что P_1 равномерно распределена по срединной поверхности цилиндрической обечайке корпуса:

$$P_1 = 2\pi p_1 (R_{ц} - 0,5h)$$

или

$$P_1 = \frac{P_1}{2\pi(R_{ц} - h/2)}, \quad R_1 = R_{ц} - h/2,$$

где $P_1 = p_0 \pi R_{ц}^2$.

Примем, что сила

$$P_2 = p_0 \pi (R_{нар}^2 - R_{ц}^2)$$

и равномерно распределена по окружности радиуса R_2 :

$$R_2 = \frac{R_{нар} - R_{ц}}{2}.$$

Тогда

$$P_2 = 2\pi R_2 p_2;$$

$$p_2 = \frac{P_2}{2\pi R_2}.$$

Пару сил p_1 и p_2 приведем к равнодействующей p_3 .

Таким образом, относительно центра тяжести меридионального сечения обоймы иллюминатора действуют две противоположные силы P и p_3 .

Отсюда следует, что если геометрические параметры подобрать таким образом, что на обойму иллюминатора будет действовать момент, стремящейся повернуть его вовнутрь, то можно способствовать разгрузке вблизи внутреннего радиуса стеклоэлемента.

Определение координат центра тяжести. Примем, что ось x совпадает с меньшим основанием корпуса, а y – его осью симметрии. Имеем

$$y_{ц.т.} = \frac{S_x}{F}, \quad x_{ц.т.} = \frac{S_y}{F},$$

где S_x – статический момент инерции сечения относительно оси x ; S_y – статический момент инерции относительно оси y .

Угол поворота можно определить как

$$\varphi = \frac{M}{E_k J_z},$$

где E_k – модуль упругости материала корпуса иллюминатора; J_z – момент инерции меридионального сечения обоймы.

Если обойма иллюминатора и цилиндрический корпус прибора соединены с помощью резьбы, то можно ожидать, что нагрузка p_z , наиболее вероятно, распределена по окружности, радиус которой смещен от срединной поверхности цилиндрического корпуса в сторону резьбы.

Итак, основная цель расчета обоймы – это определение величины и направления угла поворота сечения обоймы, а также необходимого светового диаметра.

Угол поворота сечения должен быть незначительным и направлен так, чтобы разгрузить внутреннюю поверхность полусферического стеклоэлемента и не допустить при этом отрыва контактных поверхностей обоймы и светопрозрачного элемента. Это можно сделать, например, изменяя ее толщину при неизменном габаритном диаметре.

Внутренний диаметр обоймы должен быть таким, чтобы при максимальной длительности воздействия рабочего давления не допустить выхода внутреннего диаметра стеклоэлемента за

пределы контактной поверхности корпуса. Точное значение этой величины можно определить только в процессе эксперимента, так как в расчете нельзя учесть коэффициент трения. Как показывают ранее проведенные исследования, уменьшение радиуса при таком уровне напряжения еще в течение шести-восьми часов может увеличиться на первоначальное значение при достижении рабочего давления. Данная методика была использована при разработке полусферического иллюминатора с испытательным давлением 65 МПа и $R_{\text{вн}} = 37$ мм, $R_{\text{нар}} = 72$ мм. Геометрические параметры обоймы были выбраны таким образом, что угол поворота не превышал $0,2^\circ$, а первоначальное тероретическое уменьшение внутреннего радиуса – 1 мм. При величине давления равного рабочего (60 МПа) максимальные тангенциальные напряжения σ_r , действующие на внутренней поверхности стеклоэлемента, составят 104,1 МПа. Это значение соответствует началу нелинейного участка характерис-

тики напряжения – деформации для органического стекла СО-120.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вихров Н.М. Лянзберг В.П. Некоторые общие подходы к проектированию иллюминаторов высокого давления // Морской вестник. – 2017. – №2(62). – С.31–33.
2. Вихров Н.М. Лянзберг В.П. Определение параметров обжимной шайбы иллюминаторов высокого давления // Морской вестник. – 2018. – №3(67). – С.48–49.
3. Вихров Н.М. Лянзберг В.П. Особенности выбора параметров обжимной шайбы иллюминаторов высокого давления со светопрозрачным элементом в форме оболочки // Морской вестник. – 2020. – №3(75). – С.47–48.
4. Лянзберг В.П. Акриловые иллюминаторы высокого давления со светопрозрачным элементом в форме оболочки // Вестник МАИ. – 2008. – Т.15. – С.5–9.
5. Лянзберг В.П. Несущая способность оболочек из неорганического стекла при гидростатическом нагружении // Морской вестник. – 2016. – №2(58). – С.47–49. ■

ВВЕДЕНИЕ

Значительную долю современных подводных лодок (ПЛ) составляют неатомные подводные лодки (НАПЛ). Их крупными производителями являются такие страны, как ФРГ, Нидерланды, Франция, Швеция, Российская Федерация. Развитие воздухонезависимых энергетических установок и внедрение аккумуляторов с большей удельной емкостью увеличивают боевые возможности таких ПЛ, повышая интерес к ним со стороны как флотов стран-производителей, так и иностранных заказчиков [1].

Основным вооружением большинства современных НАПЛ являются торпедные аппараты (ТА), представляющие собой многофункциональную пусковую установку, которая позволяет применять торпеды, различные типы ракет, мины, средства гидроакустического противодействия, а в перспективе и робототехнические средства (далее по тексту – изделия).

Состав вооружения НАПЛ может быть различным в зависимости от их водоизмещения и назначения. У достаточно крупных ПЛ, таких как отечественные лодки пр. 636 различных модификаций, комплекс ТА не имеет особенных отличий от комплексов современных ему АПЛ. У ПЛ малого водоизмещения комплекс ТА имеет свои особенности, например, у них может отсутствовать возможность или необходимость в размещении дополнительного боезапаса на стеллажах, при этом количество принятого на борт

оружия ограничено числом ТА. Примером таких ПЛ могут быть ПЛ пр. П-550 и пр. П-650Э разработки АО «СПМБМ «Малахит» [2]. Другой особенностью подобных ПЛ является малый внутренний объем, затрудняющий применение систем, использующих воздух высокого давления, о чем будет рассказано ниже.

В данной статье рассмотрен вопрос создания ТА для ПЛ с ограниченными водоизмещением и боезапасом, размещенным в ТА, причем вне зависимости от того выполнены ли ТА проникающими в прочный корпус ПЛ (что позволяет упростить зарядание и обслуживание изделий) или заборными (что позволяет уменьшить потребные энергетические характеристики выстрела).

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ СТРЕЛЬБЫ ТА

Системой стрельбы называется совокупность устройств и приборов, предна-

значенных для придания изделию, находящемуся в ТА, скорости, достаточной для безопасного отделения от ПЛ. Система стрельбы может быть индивидуальной, т. е. обслуживающей один ТА, или групповой, обслуживающей несколько ТА (чаще всего – все ТА одного борта). Групповая система стрельбы имеет в своем составе отдельный агрегат, именуемый *силовой установкой (СУ)*, предназначенной для создания выбирающего усилия, и ряд устройств для распределения этого усилия между обслуживаемыми ТА.

Отечественные НАПЛ оснащены ТА с индивидуальной пневматической системой стрельбы, где воздух подается непосредственно в трубу ТА, а затем принимается обратно в отсек с помощью системы беспыльной торпедной стрельбы (БТС) [3].

Отечественные АПЛ, начиная с лодок 3-го поколения, оснащены ТА с

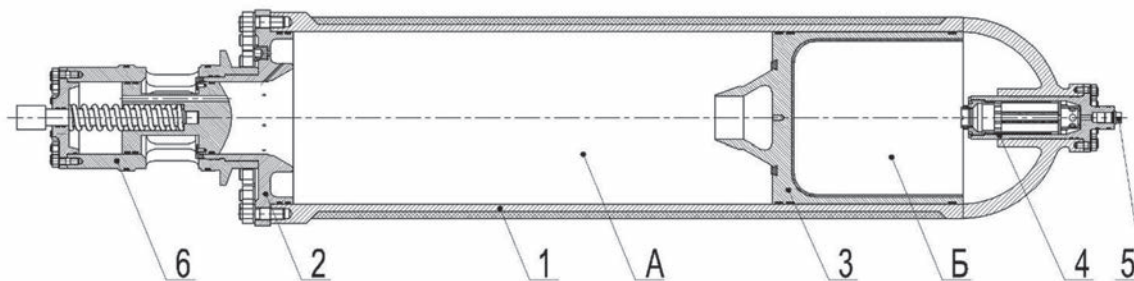


Рис. 1. Газогидрогенератор

1 – корпус, 2 – крышка, 3 – поршень-разделитель, 4 – газогенератор, 5 – пиропатрон, 6 – стыковочный разъем с клапаном, А – полость рабочей жидкости, Б – расширительная полость

групповой пневмогидравлической системой стрельбы, в которых выброс изделия происходит за счет подачи забортной воды под избыточным давлением от СУ, представляющей собой установленный в отсеке ПЛ пневмоцилиндр, со штоком которого жестко связан гидроцилиндр большого диаметра. Последний установлен в межбортном пространстве. Забортная вода через распределительную емкость, называемую *импульсной цистерной*, подается в один из обслуживаемых данной СУ ТА [4].

Оба вышеуказанных варианта конструктивной энергетических схем ТА объединяет общая черта – использование в качестве рабочего тела привода воздуха высокого давления (ВВД), применение которого предполагает сброс отработанного воздуха в отсек ПЛ. Если для АПЛ и крупных НАПЛ такой метод применим благодаря достаточно большому внутреннему объему помещений, то на малых ПЛ он может вызвать превышение внутриотсекового давления или градиента его роста сверх величин, допустимых для экипажа. При выполнении залпа из четырех изделий на глубине 100 м из ТА с пневматической системой стрельбы давление в отсеках ПЛ с общим внутренним воздушным объемом 400 м³ поднимется до величины 3-105 Па, а с ростом глубины или количества изделий в залпе – еще выше [5].

Рассмотрим ПЛ пр. 212А ВМС ФРГ. На данной ПЛ применяется гидрогидравлическая СУ, близкая по конструкции забортной части ранее рассмотренной пневмогидравлической СУ, однако в качестве рабочего тела для приведения в действие ее привода используется не ВВД, а гидравлическая жидкость, подаваемая из пневмогидроаккумуляторов (ПГА), количество которых совпадает с количеством ТА, обслуживаемых данной установкой. Один ПГА позволяет произвести один выстрел и возврат СУ в исходное положение. Перезарядка ПГА осуществляется с помощью высоконапорного насоса с электроприводом. Согласно исследованиям [5], необходимый объем рабочей жидкости для срабатывания СУ такого типа при длине трубы ТА 8,8 м составляет от 150 до 230 л.

Данная конструктивно-энергетическая схема позволяет обойтись без сброса отработанного воздуха в отсек ПЛ, однако имеет следующие недостатки:

- а) значительные массогабаритные характеристики (МГХ) ПГА, вызванные необходимостью поддержания достаточно высокого давления в конце хода СУ;
- б) необходимость наличия системы управления, компенсирующей падение давления в ПГА по ходу движения изделия.

СУ НА ОСНОВЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

В качестве альтернативного первичного источника энергии для производства выстрела могут рассматриваться газогенераторы на твердом топливе (ГГТТ), обладающие значительной удельной энергоемкостью. В настоящее время внедрение ГГТТ в качестве источника энергии для СУ ТА сдерживается двумя факторами:

- вероятностью отравления личного состава вследствие попадания пороховых газов в обитаемый объем;
- возможностью оказания пороховыми газами эрозивного действия на элементы конструкции СУ и оседания на них нагара.

В качестве технического решения, позволяющего нивелировать вышеуказанные факторы, предлагается следующая конструктивно-энергетическая схема ТА, когда выстреливание изделия из ТА осуществляется путем создания избыточного давления воды в соединяемой с ним для производства выстрела импульсной цистерне, благодаря действию специального насосного агрегата, аналогичного гидрогидравлическим ТА ПЛ пр. 212А, но расположенного за бортом. Источником энергии для работы насосного агрегата является рабочая жидкость под высоким давлением, поступающая от гидрогазогенератора (ГГГ) – устройства, в котором давление газообразных продуктов реакции горения воздействует на поршень гидроцилиндра и таким образом преобразуется в давление рабочей жидкости. ГГГ могут устанавливаться в надстройке ПЛ, в районе размещения СУ, и подключаться к ней с помощью трубопроводов. В силу способности ГГГ,

в отличие от ПГА, поддерживать близкое к постоянному высокое давление рабочей жидкости на выходе можно предположить, что при прочих равных условиях необходимый объем рабочей жидкости в них будет близок к нижнему пределу объема ПГА или еще меньше. Внешний вид варианта конструктивного исполнения ГГГ приведен на рис. 1.

Газогидрогенератор состоит из корпуса 1, закрытого с одной стороны крышкой 2. Внутри корпуса перемещается поршень 3 с радиальными уплотнениями, разделяющий внутреннее пространство на полость А, заполненную рабочей жидкостью, и полость Б, заполненную воздухом под атмосферным давлением. В задней части корпуса расположен газогенератор 4, в который установлен инициирующий пиропатрон 5. К крышке присоединен стыковочный разъем с клапаном 6, предназначенный для подключения ГГГ к СУ. Принцип действия ГГГ следующий: в исходном положении полость А полностью заполнена рабочей жидкостью (поршень 3 в крайнем правом на рисунке положении), стыковочный разъем подключен к ответной части СУ. Непосредственно перед применением ГГГ клапан стыковочного разъема приводится в открытое положение. По сигналу системы управления срабатывает пиропатрон 5, приводя в действие газогенератор 4. Под действием давления газов в полости Б поршень 3 перемещается, вытесняя жидкость через разъем в трубопровод СУ. Газообразные продукты сгорания твердого топлива после срабатывания остаются в ГГГ, не оказывают негативного влияния на части СУ и не нарушают бесследность выстрела. После возвращения ПЛ в пункт базирования газы из ГГГ сбрасываются в атмосферу с соблюдением мер безопасности, после чего ГГГ снимают с ПЛ и переснаряжают в условиях базы.

Газогенератор ГГГ может быть докритическим (реагирующим на изменение противодавления) или критическим. В случае необходимости в ГГГ может быть установлено несколько отдельных газогенераторов, при этом в зависимости от глубины срабатывает необходимое количество газогенераторов.

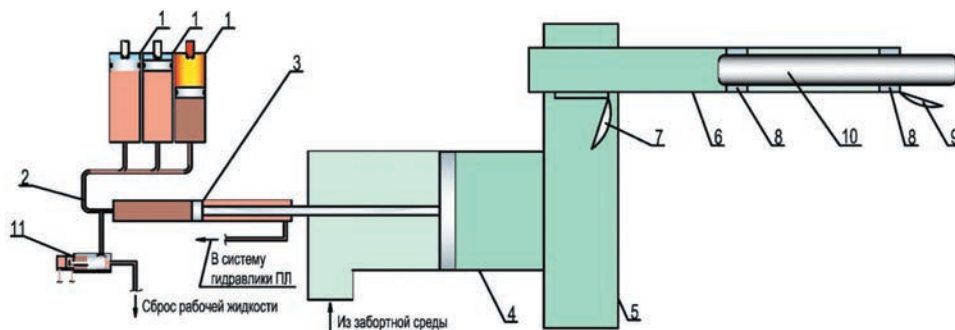


Рис. 2. Вариант схемы конструктивного исполнения СУ

1 – ГГГ, 2 – трубопровод высокого давления, 3 – гидроцилиндр высокого давления, 4 – гидроцилиндр низкого давления (водяной), 5 – импульсная цистерна, 6 – труба ТА, 7 – кингстон ТА, 8 – кольца obtюрации, 9 – передняя крышка, 10 – изделие, 11 – клапан сброса отработанной жидкости

На рис. 2 изображен один из вариантов конструктивного исполнения СУ. В качестве первичного источника энергии используются ГГГ 1. При срабатывании одного из них рабочая жидкость движется по трубопроводу высокого давления 2 в гидроцилиндр высокого давления, приводя в движение его поршень, жестко связанный с поршнем гидроцилиндра низкого давления 4, осуществляющим нагнетание забортной воды в импульсную цистерну 5. Из этой цистерны нагнетаемая забортная вода попадает в трубу одного из ТА 6 через открытую крышку кингстона 7. Благодаря наличию в трубе ТА колец obtюрации 8, минимизирующих утечки воды через открытую переднюю крышку 9, давление в задней части ТА достигает величины, достаточной для сообщения изделию 10 необходимого для выброса из трубы ТА ускорения. По окончании выстрела кингстон 7 ТА закрывается, а СУ приводится в исходное положение путем подачи жидкости от системы гидравлики ПЛ в нерабочую полость гидроцилиндра высокого давления 3 со сбросом отработанной рабочей жидкости через клапан 11. Для производства следующего выстрела открывается кингстон 7 на другом ТА и приводится в действие готовый к срабатыванию ГГГ 1.

В описанной схеме возврат СУ выполняется за счет подачи жидкости от системы гидравлики в полость гидроцилиндра 3, что снижает габариты СУ, но может оказывать тормозящее действие в процессе выстрела при высоком гидравлическом сопротивлении тракта. Возврат может осуществляться и другими способами, например, приложением усилия к поршню гидроцилиндра низкого давления от специального привода, который после возврата возвращается в исходное положение и не оказывает влияния на процесс выстрела.

Сбор отработанной рабочей жидкости может происходить в специальную цистерну или же без нее – с выбросом отработанной жидкости непосредственно в забортную среду. Последний вариант выглядит предпочтительнее для достижения приемлемых массогабаритных

характеристик и простоты конструкции, однако возникают дополнительные требования к рабочей жидкости, ее экологичности и бесследности.

Еще более перспективным представляется вариант совместного использования ГГГ с гидротурбонасосной СУ (ГТН СУ) на основе гидротурбины и динамического насоса.

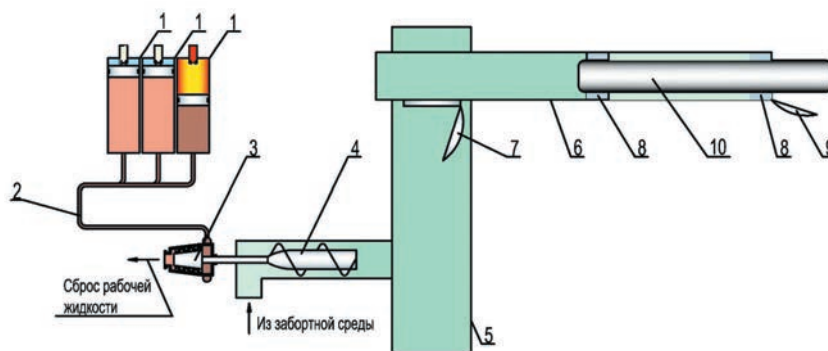


Рис. 3. Вариант схемы конструктивного исполнения СУ с гидротурбиной

1 – ГГГ, 2 – трубопровод высокого давления, 3 – гидротурбина, 4 – насосный агрегат, 5 – импульсная цистерна, 6 – труба ТА, 7 – кингстон ТА, 8 – кольца obtюрации, 9 – передняя крышка, 10 – изделие

На рис. 3 приведен один из вариантов конструктивного исполнения СУ с гидротурбонасосом. В части использования ГГГ и конструкции ТА он аналогичен ранее рассмотренному варианту. Отличие заключается в том, что жидкость высокого давления от ГГГ по трубопроводу 2 поступает в гидротурбину 3, где происходит преобразование кинетической энергии жидкости в крутящий момент на роторе гидротурбины. Крутящий момент через вал передается на насосный агрегат, который, вращаясь, нагнетает воду в импульсную цистерну 5. Преимуществами ГТН СУ по сравнению с вариантом СУ с поршневым насосом являются меньшие массогабаритные характеристики и отсутствие необходимости взвода СУ после очередного срабатывания, что упрощает процедуру пуска следующего изделия и позволяет сократить время на подготовку.

ВЫВОДЫ

К достоинствам ГГГ в качестве источника энергии для срабатывания СУ ТА относятся:

- возможность существенного уменьшения массогабаритных характеристик СУ;
- высокая степень безопасности ГГГ при повседневном обращении и использовании по назначению при условии соблюдения определенных мер, что подтверждается практическим опытом эксплуатации аналогов;

- при нахождении на ПЛ ГГГ не требуют обслуживания;
- в отличие от классических воздушных или гидравлических схем стрельбы, при срабатывании в торпедный отсек не поступает значительное количество сжатого воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мозговой А.Ф. Пятое поколение НАПЛ бросает вызов атомоходам. // Национальная оборона. – 2019. – № 4 (157) – С. 28–53.
2. АО «СПМБМ «Малахит», СПб., 2021. – URL: www.malachite-spb.ru (дата обращения – 20.06.2021).
3. Шафранский Е.П. Пневматические ТА отечественных ПЛ. – СПб: АО СПМБМ «Малахит», 2012.
4. Шафранский Е.П. Гидравлические и механические ТА отечественных ПЛ. – СПб: АО СПМБМ «Малахит», 2012.
5. Борисенко К.П., Ефимов О.И., Крассильников Е.П. Торпедные аппараты подводных лодок. – СПб: Изд. ГМТУ, 2002. ■

Аля каждого проектируемого судна, у которого расчетом установлено превышение ожидаемого уровня шума, допустимого санитарными нормами, а также для построенных судов с уровнями шума, превышающими эти нормы, и в связи с эти подготавливаемых к переоборудованию, должны быть разработаны необходимые комплексы противошумовых мероприятий.

Основные источники шума на судах – главные двигатели и винторулевой комплекс. Источниками меньшей интенсивности, но также создающими повышенный шум, являются вспомогательные двигатели и механизмы, системы вентиляции и кондиционирования воздуха, электрорадионавигационное оборудование и бытовые системы, установленные без соблюдения соответствующих правил [1].

Как известно, от акустической незаметности зависит выживание подводных лодок. Механическая вибрация и шум от оборудования передаются на конструкцию корпуса через фундамент. Затем эта вибрация и звук излучаются в воду. Поэтому фундамент становится ключевым звеном на пути передачи вибрации. Вибрационные характеристики фундамента в какой-то степени можно отнести к акустической скрытности подводных лодок [2].

Судовые фундаменты представляют собой единую систему, связанную с жесткими связями корпуса судна вместе с соответствующими перекрытиями или балками набора, которая воспринимает действующие на нее усилия. Конструкция фундаментов должна быть достаточно прочна и, кроме того, достаточно жестка, чтобы исключить недопустимые колебания установленных на них механизмов. [3]

В настоящее время при проектировании судовых фундаментов с повышенными виброизолирующими свойствами руководствуются требованиями, приведенными в ОСТВ5.0373–83, ОСТ5.101–83, «Методических указаниях по применению и оценке шумопоглощающей эффективности вибропоглощающих покрытий» и других методических указаниях. Традиционно для этой цели находят применение виброзадерживающие массы (ВЗМ) и вибропоглощающие покрытия (ВПП), а также их сочетание.

В качестве ВЗМ применяют металлические бруски круглого или квадратного сечения, устанавливаемые на основные связи фундаментов. Для эффективной работы размеры поперечного сечения ВЗМ должны не менее чем в 10 раз превышать среднюю толщину основных связей фундамента. Вследствие этого основным недостатком ВЗМ является существенное увеличение

РАЗРАБОТКА СУДОВОГО ФУНДАМЕНТА С ПОВЫШЕННЫМИ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР И АГРЕССИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

*И.В. Николаев, инженер-конструктор 2-й категории АО «51 ЦКТИС»,
контакт. тел. +7 (911) 757 1044*

массы фундамента и вибродемпфируемой (как правило, днищевой) секции судна [4].

Одно из наиболее распространенных типов ВПП – армированное вибропоглощающее покрытие, представляющее собой диссипативный слой резиноподобного материала, на который наносится армирующий слой из металла. Один из недостатков армированного вибропоглощающего покрытия – большая масса, обусловленная как большими размерами покрытия в плане, так и его большой толщиной. Для повышения эффективности это покрытие наносят на всю поверхность демпфируемой конструкции или ее часть (не менее 60%), а толщина покрытия при этом должна превышать толщину демпфируемой конструкции в 2 раза и более.

Демпфирующие свойства полимерных материалов зависит от различных технологических и внешних факторов, наиболее важные из них – температура и частота колебаний. Несмотря на достаточно сложный нелинейный характер зависимости коэффициента потерь η и модуля упругости E от температуры, в целом с ростом температуры наблюдается понижение демпфирующих свойств материала [5].

У традиционных полимерных материалов, таких как резина, с повышением температуры происходит ускорение процесса старения. При слишком высокой температуре демпфирующий материал может даже трескаться и обугливаться, что значительно сокращает срок его службы. Прочие сопутствующие агрессивные среды также негативно влияют на срок службы ВПП.

Следует отметить, когда корабль (подводная лодка) движется на полном ходу, в машинном отделении (в реакторном и турбогенераторных отсеках) может возникать высокая температура (около 60 °С и выше). Надежная и эффективная конструкция ВПП для снижения вибрации фундамента при высоких температурах по-прежнему остается определенной технической проблемой.

Задача настоящего исследования – провести анализ свойств современных

ВПП и на его основе предложить эффективную систему снижения уровня вибрации судового фундамента под главные или вспомогательные механизмы на низших резонансных частотах (50–1000 Гц) в условиях высоких температур и агрессивных сред.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Основная цель использования средств вибропоглощения – увеличение с их помощью коэффициентов потерь η конструкций, т.е. диссипативной характеристики, определяющей уровни звуковой вибрации конструкции.

Темам разработки и создания ВПП были посвящены научные исследования как российских, так и зарубежных ученых. В настоящее время известны следующие фундаментальные труды, в которых изложены основные теоретические закономерности, повлиявшие на дальнейшее развитие науки в направлении борьбы с вибрациями: Л. Нильсен «Механические свойства полимеров и полимерных композиций» (1978 г.), А.С. Никифоров «Вибропоглощение на судах» (1979 г.) и др.

Вибропоглощающие покрытия по характеру происходящих в них деформаций и эффективности применения в частотных диапазонах делят на несколько типов.

Установлено, что мягкие, армированные и некоторые комбинированные ВПП эффективны в диапазоне частот выше 800 Гц. Применение жестких ВПП для вибродемпфирования металлоконструкций эффективно в диапазоне частот менее 800 Гц.

В настоящее время создание однородных конструкционных материалов с большими коэффициентами внутренних потерь считается одним из наиболее перспективных средств вибропоглощения. Известно, что пористые материалы, такие как металлическая пена и сотовые материалы, могут эффективно поглощать удары энергии, это привлекает внимание многих исследователей и производителей. Эффект достигается

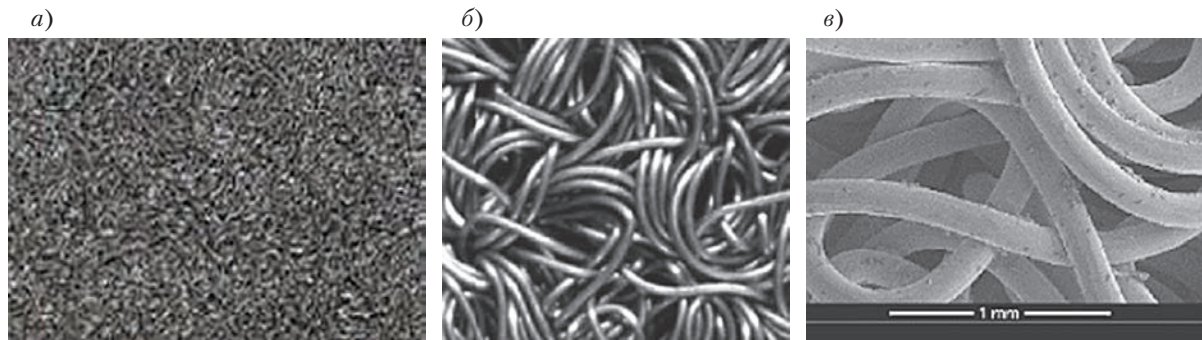


Рис. 1. Пластина EMWM: а – без увеличения, б – увеличение 10-кратное, в – увеличение 100-кратное

за счет мелкоячеистой структуры материала, обеспечивающей существенные потери за счет сухого трения, и применения сплавов, в состав которых входят вязкие компоненты.

Среди современных демпфирующих материалов интересным для решения поставленной задачи является материал с запутанной металлической проволокой (EMWM – entangled metallic wire material). Это пористый материал, сделанный из проволоки через серию специальных технологических процессов: спиралевания, растяжения, наматывания и штамповки металлической проволоки. Он может рассеивать энергию вибрации за счет сухого трения между соседними проволоками спирали. Некоторые зарубежные исследователи также используют термины «металлическая резина» (MR), «металлическая проволочная сетка» (MWM) или эластичная пористая проволочная сетка (EPWM)[6].

Благодаря высокой термостойкости

материал может применяться как эффективный способ решения проблемы гашения вибрации в суровых условиях. Известны исследования демпфирующих свойств EMWM в условиях высоких и низких температур. Основные свойства материала приведены ниже. EMWM и его структура под микроскопом показаны на рис. 1.

ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА

Имеются сведения об эффективных виброизолирующих свойствах EMWM как при нормальной, так и повышенной температурах. В работе исследователей Y. Zhu, Y. Wu [6] проводились исследования типовой сварной стальной тавровой конструкции с размерами 650×200 мм и толщиной опорной поверхности 20 мм. Высота стенки составляла 380 мм, толщина – 12 мм. Конструкция была приварена к листу настила, который поддерживается четырьмя опорами.

Конструкция и неподвижная плита были изготовлены из углеродистой

стали обыкновенного качества. ВПП, состоящее из ограничивающей металлической пластины и 4-миллиметрового слоя EMWM крепилось по периметру к конструкции (к стенке и полке тавра).

В эксперименте электромагнитный вибростенд передавал сигнал для непрерывного возбуждения конструкции. Параметры сигнала возбуждения: частотный диапазон – 10–1000 Гц, амплитуда – 80. Форма волны – синусоида.

Отклик конструкции определялся с помощью четырех акселерометров, расположенных на основании. Сигналы возбуждения и реакции записывались и обрабатывались в реальном времени. Для обеспечения точности измерения собранных частот данные брались с четырех точек.

Среднее виброускорение конструкции, дБ, рассчитывали как

$$Z = 20 \lg \left(0,25 \sum_{i=1}^4 \frac{a_i}{F} \right) + 120, \quad (1)$$

где a_i – значение ускорения в точке измерения i , F – входная сила в точке возбуждения.

Параметр Z измеряли с установленным в конструкции ВПП и без него. Температура окружающей среды в эксперименте составляла 20 °С и 300 °С.

Вносимые потери – параметр, характеризующий оценки влияния ВПП на характеристики снижения

Основные физико-механические свойства EMWM

Параметр	Величина
Плотность (в зависимости от формовочного давления), кг/м ³	В среднем ≈ 2590
Степень поглощения энергии на ударных испытаниях (согласно работе [6]), %	В диапазоне 50–85
Диапазон температур, в котором характеристики демпфирования стабильны, °С	От –70 до 300
Материал металлической проволоки.....	Нержавеющая сталь 304 (06Cr19Ni10), аналог 03X18H11 по ГОСТ 5632–72

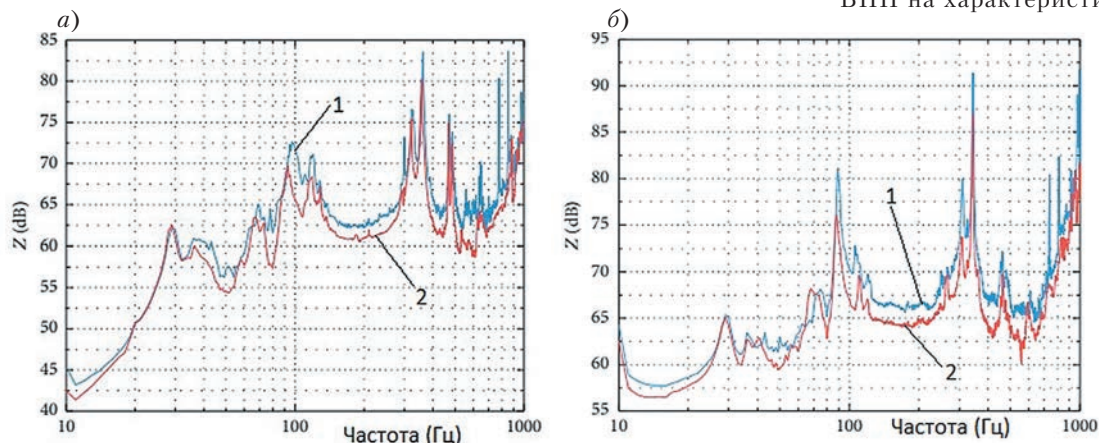


Рис. 2. Кривые виброускорения конструкции (согласно исследованиям Y. Zhu, Y. Wu [6]):

а – при температуре 20 °С
 1 – конструкция без ВПП, 2 – конструкция с ВПП;
 б – при температуре 300 °С
 1 – конструкция без ВПП, 2 – конструкция с ВПП

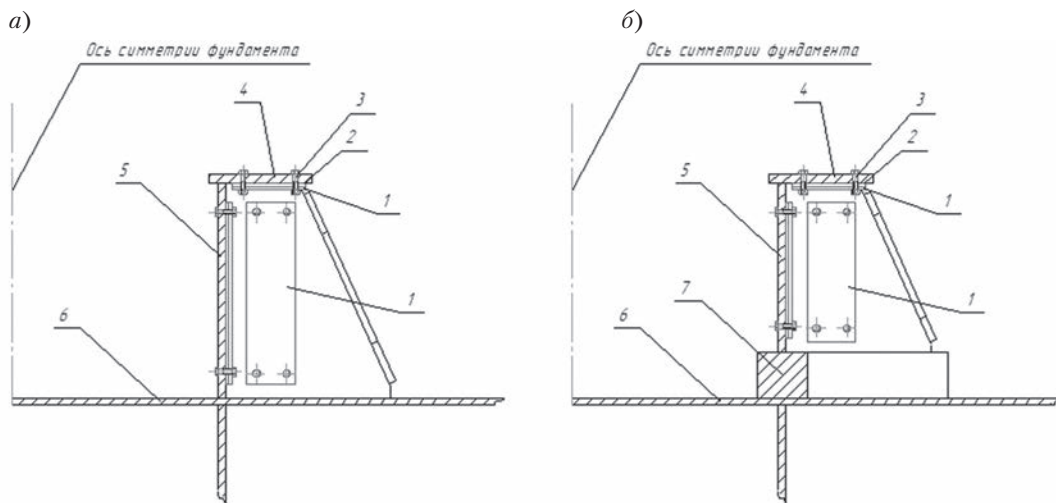


Рис. 3. Варианты фундамента с повышенными виброизолирующими свойствами, разработанные автором настоящей работы:

а – вариант исполнения без ВЗМ

1 – ограничитель, 2 – слой EMWM, 3 – болтовое крепление, 4 – опорный пояс, 5 – стенка фундамента, 6 – палуба;

б – вариант исполнения с ВЗМ

1 – ограничитель, 2 – слой EMWM, 3 – болтовое крепление, 4 – опорный пояс, 5 – стенка фундамента, 6 – палуба, 7 – виброзадерживающая масса (ВЗМ)

вибрации фундамента, рассчитывали по формуле

$$IL = Z_c - Z_0, \quad (2)$$

где Z_c – среднее ускорение конструкции с ВПП, Z_0 – среднее ускорение конструкции без ВПП.

Результаты вибрационных испытаний конструкции с установленным ВПП и конструкции без ВПП при комнатной температуре и температуре 300 °С представлены на рис. 2.

При комнатной температуре пиковое значение вносимых потерь составляет около 3,07 дБ. При высокой температуре средние значения Z_c и Z_0 возрастают на 5–10 дБ. Причина может объясняться уменьшением модуля Юнга стали при высокой температуре. Среднее значение параметра вносимых потерь ВПП при высокой температуре составляет 4,11 дБ.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ EMWM В КАЧЕСТВЕ ВПП СУДОВЫХ ФУНДАМЕНТОВ

На основании проведенного исследования свойств был проработан вариант судового фундамента под главные или вспомогательные механизмы с применением ВПП на основе EMWM. На рис. 3 показаны варианты установки ВПП на фундамент.

Механизм работы ВПП состоит в следующем: вибрация, переданная механизмом в конструкцию фундамента, распространяется на ограничитель (металлическую пластину) 1 через болтовое крепление 3. Толщина ограничителя 1 должна составлять от 0,2 до 0,5 толщины связи фундамента 4 и 5. Возникающие

колебания в ограничителе 1 воздействуют на установленный без зазора упругий слой EMWM 2. Колебательный процесс в слое EMWM, обладающей подпружинивающими свойствами, сопровождается потерями вибрационной энергии из-за ее преобразования в тепло. Определяющим является нахождение упругого слоя из EMWM 2, обладающей подпружинивающими свойствами, без зазора между 1 и связью фундамента 4 и 5. При этом создаются условия для передачи колебательной энергии на прессованный слой 2 и создания в нем вибропоглощения [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы, которые можно сделать на основе проведенной работы, заключаются в следующем:

- разработан вариант судового фундамента с использованием вибропоглощающего покрытия на основе материала из металлической проволоки EMWM, который имеет повышенные виброизолирующие свойства;
- демпфирующие свойства ВПП из металлического проволочного материала EMWM стабильны и эффективны при различных температурах;
- значения затухания на низкочастотном диапазоне немного улучшаются при более высокой температуре, чем при комнатной температуре. В среднем значение параметра вносимых потерь ВПП при высокой температуре составляет 4,11 дБ.

Данное ВПП в сочетании с виброзадерживающими массами может най-

ти применение для гашения вибрации судовых конструкций надводных и подводных кораблей ВМФ. Изучение свойств и эффективности данного вибропоглощающего материала может послужить темой для дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. РД 31.81.81–90. Рекомендации по снижению шума на судах морского флота. – Введены 1992-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 104 с.
2. Чернавин В.Н., Алексин В.И. Военно-морской словарь – М.: Воениздат, 1990. – 511 с.
3. ОСТ5.1011–87. Фундаменты под вспомогательные механизмы и котлы, изделия, оборудование и устройства. Правила и нормы проектирования. – Введены 1983–23–08. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 117 с.
4. РД5.1121–87. Фундаменты судовые под главные механизмы. Правила и нормы проектирования. – Введены 1987-16-06. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 104 с.
5. Никифоров А.С. Акустическое проектирование судовых конструкций. – Л.: Судостроение, 1990 – 200 с.
6. Zhu Y., Wu Y., Bai H. Research on vibration reduction design of foundation with entangled metallic wire material under high temperature. – Engineering research center for metal rubber, Fuzhou University, 2019.
7. Патент РФ RU 2713264, МПК G10K11/00, F16F7/104, F16F15/04 Вибропоглотитель / В.Ю. Кирпичников, В.В. Савенко, А.П. Кошечев, Р. И. Кильде-ев. Заявитель и патентообладатель ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – № 2019111808; заявл. 18.04.2019; опубл. 04.02.2020 // Бюл. № 4. Ссылка на бюллетень изобр. <https://patents.google.com/patent/RU2713264C1/ru> ■

Судовой валопровод работает в условиях специфических динамических нагрузок, обусловленных гидромеханическими процессами, сопровождающими работу гребного винта. Существенную роль в нагружении валопровода также играет механическое воздействие корпуса судна как деформируемой системы на дейдвудное устройство, а через него – на гребной вал. Исследование явлений, возникающих при работе судового валопровода, – сложный и трудоемкий процесс, напрямую зависящий как от конструктивных особенностей каждого проекта судна, так и от случайных факторов, влияющих на его напряженно-деформированное состояние [1, 2].

Конструктивно-технические особенности судна, а также условия размещения главных двигателей на судах вызывают необходимость располагать осевые линии валопроводов под углом как к основной, так и к диаметральной плоскости судна. Угол уклона валопровода к основной плоскости водоизмещающих судов на этапе их проектирования принимается в диапазоне от 0 до 5°. На некоторых судах с динамическими принципами поддержания уклон может достигать 10°. Нельзя также исключать влияния динамического дифферента, возникающего при движении судна, и статического [4], часто используемого на практике в целях увеличения эффективности действия движителей [3]. Уклон валопровода является одним из факторов, оказывающих непосредственное влияние на параметры поперечных колебаний. Величина уклона оказывает влияние на распределение

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УКЛОНА ВАЛОПРОВОДА СУДНА НА ПАРАМЕТРЫ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ

*Г.А. Кушнер, канд. техн. наук, доцент,
В.А. Мамонтов, д-р техн. наук., доцент, проф.,
В.В. Шахов, соискатель, ст. преподаватель,
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»,
guriy.kushner@mail.ru, vaskas@mail.ru, контакт.тел.+7(8512)614190*

изгибающего момента и поперечной силы по длине гребного вала, а также на направление силы упругости, создаваемой дейдвудным подшипником, и на распределение образованных на гребном винте сил.

В работе поставлена задача изучения влияния уклона валопровода судна на такие параметры поперечных колебаний, как нормальные напряжения на поверхности вала, частота и начало неустойчивого резонансного состояния. Проведение исследований на экспериментальной установке позволило существенно облегчить получение опытных данных при контролируемых условиях испытаний. Исследование проводилось на базе лаборатории судового валопровода Института морских технологий, энергетики и транспорта ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет».

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования влияния уклона валопровода на параметры попе-

речных колебаний была использована модернизированная экспериментальная установка [5] для исследований колебаний валопровода судна (рис. 1).

Конструкция экспериментальной установки позволяет регистрировать параметры колебаний модели вращающегося валопровода с различным уклоном α , что существенно облегчает получение опытных данных при контролируемых условиях испытаний.

Для обеспечения уклона были изготовлены комплекты стальных проставок, обеспечивающих различный наклон вала экспериментальной установки с шагом 2°. Для контроля уровня при фиксации рамы установки на фундаменте применялся электронный уклономер, обеспечивающий измерение с погрешностью 0,1°.

Конструкция экспериментальной линии модели валопровода судна установки (рис. 2) предоставляет возможность варьирования четырех факторами: углом уклона, частотой вращения вала, величиной зазора между валом и подшипником, а также материалом модели дейдвудного подшипника. Планируемый эксперимент по оценке влияния положения осевой



Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения колебаний системы валопровода судна

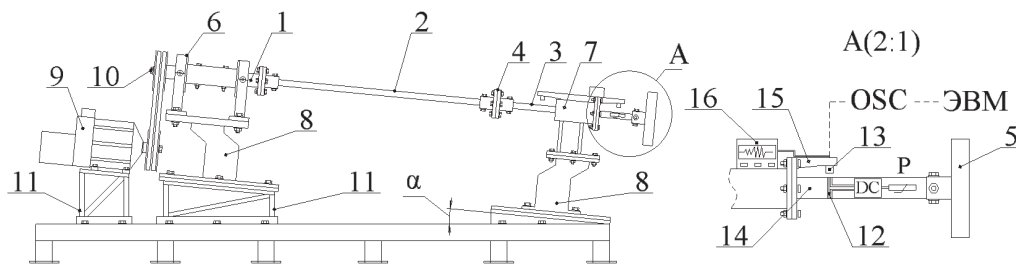


Рис. 2. Конструкция модернизированной экспериментальной установки и измерительной системы
 1, 2, 3 – система валов; 4 – фланцевое соединение; 5 – нагрузочный диск; 6 – подшипники качения; 7 – корпус подшипника скольжения; 8 – опоры; 9 – двигатель с частотным преобразователем; 10 – клиноремённая передача; 11 – проставки; 12 – антенна; 13 – магнит; 14 – выходной вал установки; 15 – кронштейн; 16 – электронный уклономер; P – тензорезисторы; DC – блок питания; OSC – преобразователь и осциллоскоп; ЭВМ – персональный компьютер

на параметры поперечных колебаний относится к разряду активных экспериментов. Выходная величина изучается при варьировании на трех уровнях: верхнем, нижнем и среднем. Для каждого фактора, учитывая принципиальные ограничения, оценены границы его изменения. В этих границах для всех факторов выбраны основной уровень и интервал варьирования, которые непосредственно использованы при планировании эксперимента.

Эксперимент заключался в регистрации параметров поперечных колебаний вала установки под различными углами к горизонтальной оси. В корпус подшипника скольжения устанавливались модели дейдвудных подшипников скольжения из капрлона. Модели, изготовленные согласно натурной параболической форме изношенных подшипников [6], имели различные диаметры кормовой око-

нечности втулки: 19, 20, 21 мм. При помощи преобразователя частоты переменного тока изменялась частота вращения двигателя с течением времени до наступления неустойчивого состояния вала установки.

В качестве первичных преобразователей применены проволочные тензорезисторы, включенные в мостовую цепь. Деформация вала в процессе вращения приводит к изменению линейного размера и сопротивления датчика, а соответствующая этому разбалансировка моста приводит к изменению напряжения на выходе. Зарегистрированное при помощи осциллоскопа изменение напряжения на выходе моста позволяет найти относительное удлинение тензодатчика. Значение относительного удлинения позволяет вычислить силу и напряжение на поверхности вала, так как при упругой деформации механическое

напряжение пропорционально относительной деформации тензодатчика. Результаты эксперимента представлены в виде графиков зависимости нормальных напряжений на поверхности от частоты вращения вала.

ОПЫТНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выявления областей динамической неустойчивости колебаний вала, характеризующихся резким возрастанием амплитуды, эксперимент проводился при каждом режиме не менее 20 раз. Полученные в ходе эксперимента данные представлены в виде тензограмм поперечных колебаний вала, часть которых приведена на рис. 3–5.

Полученные результаты подверглись статистической обработке при доверительной вероятности 0,95. По результатам обработки на рис. 6 пред-

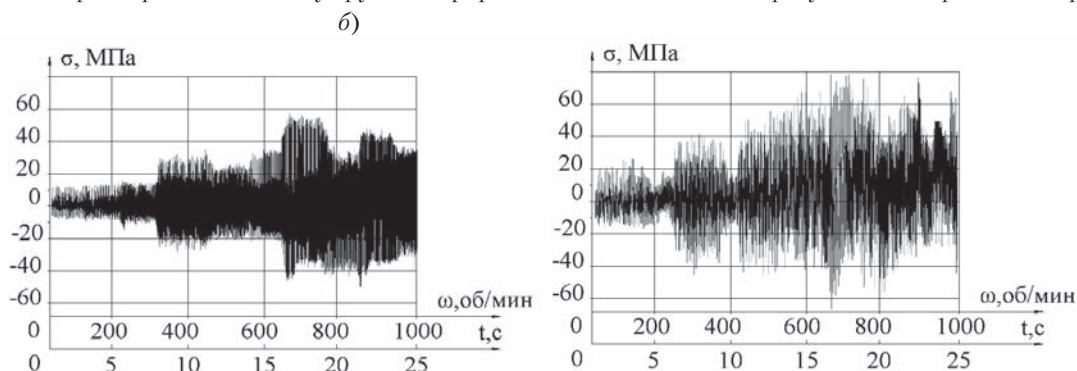


Рис. 3. Тензограммы поперечных колебаний вала установки при различных зазорах в капрлоновом подшипнике при угле 0° : а – при зазоре 1 мм; б – при зазоре 3 мм

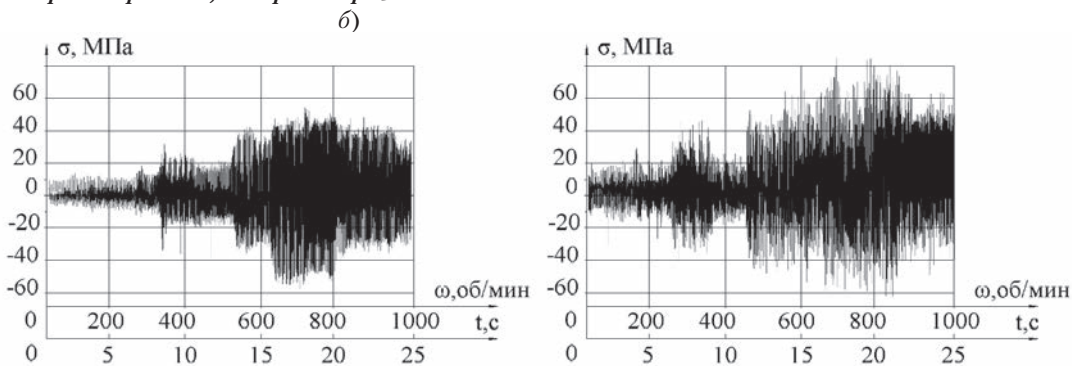


Рис. 4. Тензограммы поперечных колебаний вала установки при различных зазорах в капрлоновом подшипнике при угле 6° : а – при зазоре 1 мм; б – при зазоре 3 мм

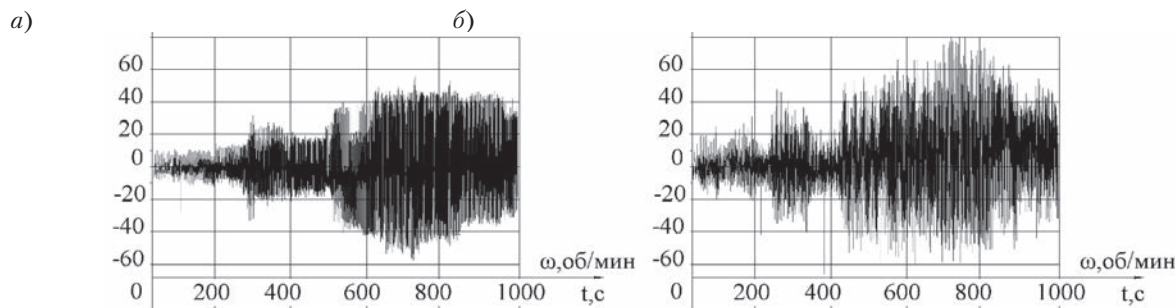


Рис. 5. Тензограммы поперечных колебаний вала установки при различных зазорах в капролоновом подшипнике при угле 12° : а – при зазоре 1 мм; б – при зазоре 3 мм

ставлены графики зависимостей частоты начала области динамически неустойчивого состояния при различном угле α при различных зазорах в подшипнике Δ .

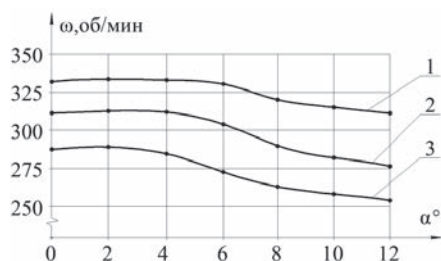


Рис. 6. Влияние угла уклона модели судового валопровода на частоту начала неустойчивого состояния вала установки при зазоре в подшипнике 1 – при зазоре 1 мм (y_1), 2 – при зазоре 2 мм (y_2), 3 – при зазоре 3 мм (y_3)

Полученные функции отклика y_1 , y_2 и y_3 представлены в виде интерполяционного многочлена Лагранжа:

$$y_1 = -0,00162x^6 + 0,05742x^5 - 0,75130x^4 + 4,48700x^3 - 12,34380x^2 + 12,88341x + 331,$$

$$y_2 = -0,00134x^6 + 0,04479x^5 - 0,54080x^4 + 2,89585x^3 - 7,19036x^2 + 6,95014x + 311,$$

$$y_3 = 0,00002x^6 - 0,00299x^5 + 0,07248x^4 - 0,58589x^3 + 1,0846,8x^2 + 0,14175x + 287,$$

где y_i – частота начала области неустойчивости вала установки ω , об/мин; x_i – угол уклона вала.

Проверка адекватности полученной модели проведена по множествен-

ному коэффициенту детерминации. Значение коэффициента детерминации для функций отклика $R_i^2 > 0,98$, что позволяет сделать заключение о достаточно высоком качестве построенной регрессионной модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученный результат позволил исследовать закономерность возникновения неустойчивого состояния вала экспериментальной установки при поперечных колебаниях с учетом угла уклона. Согласно полученным экспериментальным данным, угол уклона валопровода, равно как и зазор в дейдвудном подшипнике, могут оказывать существенное влияние на величину частоты возникновения неустойчивого состояния.

Увеличение угла уклона модели валопровода судна от 0° до 12° привело к снижению частоты начала неустойчивого состояния на 6% при зазоре 1 мм, на 10% при зазоре 2 мм и на 12% при зазоре 3 мм. Снижение частоты начала неустойчивого состояния при увеличении зазора с 1 мм до 3 мм составило 13% при угле уклона 0° и 18% при угле уклона 12° .

Измеренные нормальные напряжения, возникающие на поверхности вала при колебаниях, не претерпевают существенных изменений при увеличении угла уклона. Однако увеличение зазора между подшипником с валом привело к увеличению значений нормальных напряжений до 25%.

Полученные данные позволяют глубже изучить вопрос возникнове-

ния явления резонанса судового валопровода и могут быть использованы при его проектировании в части расчета поперечных колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров В.В. Нагружение опор валопровода с подшипниками качения при центровке главных судовых установок // Вестник Астраханского ГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2009. – №1. – С. 203–208.
2. Глушков С.С. Математическое моделирование динамических характеристик судовых валопроводов: дисс. – Новосибирск: НГАВТ, 2009. – 165 с.
3. Савчук В.Д., Хомяков В.Ю. Расчет координат центра тяжести штабеля груза при дифференте малотоннажного судна // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. – 2016. – № 1 (35). – С. 36–44.
4. Гаврилюк Р.Н. Исследование нагружения подшипников судового валопровода // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. – 2011. – № 1 (9).
5. Халаявкин А.А., Кушнер Г.А., Мамонтов В.А. Экспериментальная установка для исследования параметрических колебаний валопроводов судов // Эксплуатация морского транспорта. – Новороссийск: Изд-во ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2015. – № 1. – С. 39–42.
6. Мамонтов В.А., Миронов А.И., Кузнецов Ч.А., Халаявкин А.А. Анализ износов капролоновых втулок дейдвудных подшипников гребного вала // Вестник Астраханского ГТУ – Сер.: Морская техника и технология. – 2012. – № 1. – С. 30–35. ■

Удовлетворение растущего спроса и интенсификация производства сжиженных газов в России и мире (см., например, [1, 2]) обуславливает непрерывное развитие соответствующих отраслей промышленности, в том числе транспортной. Крупные объемы сжиженных газов (СГ) традиционно перевозятся наливом на судах-газовозах. Для отгрузки перевозимого газа в береговые сооружения применяются погружные центробежные насосы. Так как перевозка морем – единственный способ трансконтинентальной транспортировки СГ, разработка специальных насосов, приспособленных к морским условиям и способных работать в среде сжиженных газов, была и остается важной научно-технической задачей. Настоящая статья подготовлена с целью определения направлений их развития как объекта морской техники.

Погружным насосам СГ посвящены работы В.В. Буренина и др. [3], выполнивших комплексный анализ различных конструкций криогенных насосов, С.П. Баскакова [4], Д.С. Бабиковой [5] и Е.Б. Федоровой [6], рассматривавшей погружные насосы как часть комплексов производства сжиженных газов. Из иностранных источников можно выделить работы С. Раша и Л. Холла [7], анализировавших основные особенности погружных насосов, Г. Вайссера [8]. Ряд публикаций выполнен Т. Гэвином и С. Рэем [9], Д. Калленом и сотрудниками [10], Р. Фуксом [11]. Тем не менее непосредственно вопросы развития конструкций погружных насосов СГ освещены сравнительно слабо.

Выявление тенденций и областей развития погружных насосов для перекачивания СГ требует рассмотрения их развития в динамике. Так, первые образ-

ПОГРУЖНЫЕ НАСОСЫ СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ НА СУДАХ ТРАНСПОРТНОГО ФЛОТА

*П.А. Зеленев, инженер-конструктор,
М.Н. Боровков, начальник отдела,
И.Б. Коробов, зам. главного конструктора центробежных машин и арматуры,
АО «ОКБМ Африкантов»,
контакт. тел. +7 (902) 785 7341*

цы судовых насосов СГ были полупогружными, т.е. имели вынесенный на палубу электродвигатель, соединенный с рабочими органами насоса через муфту. Типичный облик насоса данного типа показан на рис. 1. Первое применение такого насоса имело место при перевозке сжиженного природного газа (СПГ) от завода СПГ на реке Калкашу в юго-западной Луизиане (США) до приемного терминала г. Канви-Айленд (Великобритания) в 1959 г. [12] на судне «Пионер метана».

Подача насосов составляла 225 м³/ч, два из пяти резервуаров обслуживались восьмиступенчатыми насосами, а три других – трехступенчатыми [13]. Данный опыт был признан успешным: насосы работали без отказов непосредственно во время отгрузки и прямого и обратного перехода судна, несмотря на сильное волнение, вызывавшее его крен до 20°.

Подобные насосы применяются и в настоящее время, однако это ограничивается рядом присущих им недостатков. Так, увеличение вместимости судов требует удлинения вала насосов, что снижает технологичность конструкции, в некоторых случаях делая процессы монтажа практически невыполнимыми. Кроме этого, высокой сложностью и ограниченной надежностью обладают узлы герметичных проводок вращающихся валов через корпусные конструкции. Наибо-

лее широко используемые уплотнения с запирающей средой требуют организации вспомогательных систем. Также вспомогательные системы необходимы для смазки подшипников.

Поиск путей устранения данных недостатков привел к появлению погружных насосов. Полное погружение насоса, включая электродвигатель, как решение обусловлено тем, что сжиженные газы в основном являются диэлектриками, и грузовые танки зачищаются от кислорода для предотвращения образования взрывоопасной газовой смеси. Впервые погружной электронасос для перекачки СПГ был применен на французском судне «Бовуа» [11, 14], построенном в 1962 г. Вид раннего погружного насоса показан на рис. 2 [5, рис. 1].

К 1970-м гг. погружные насосы начинают применять на газовозах повсеместно. Объединение непосредственно насоса и электродвигателя в одном моноблочном агрегате позволило решить проблемы соединения, сборки и монтажа, присущие полупогружным насосам; отпала необходимость в обеспечении герметичного динамического уплотнения, вспомогательных систем его питания и смазки подшипников.

По назначению судовые насосы СГ подразделяются на грузовые, аварийные и распыляющие [7, 9]:

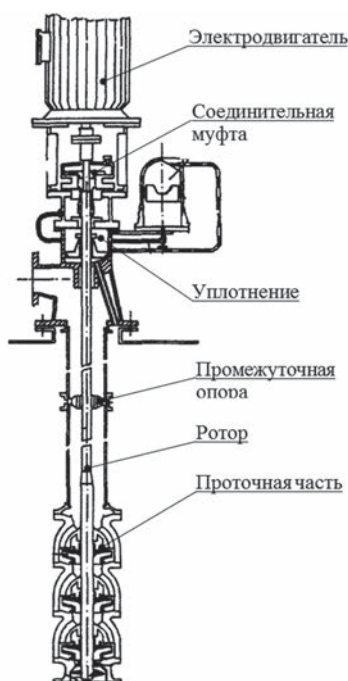


Рис. 1. Полупогружной насос СГ

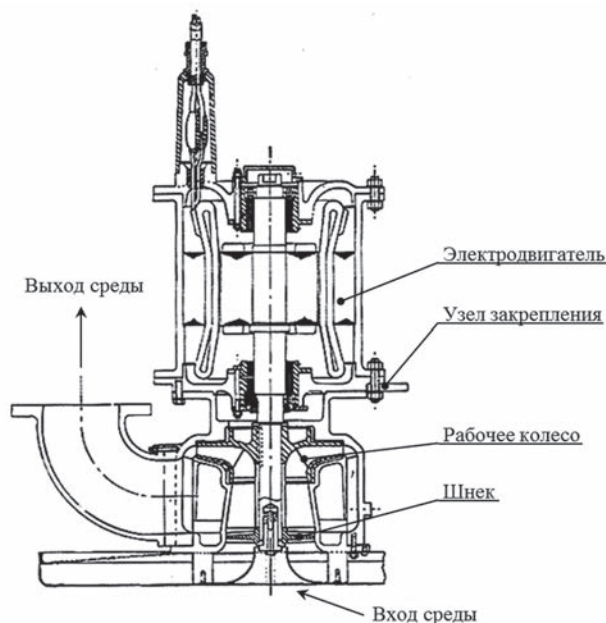


Рис. 2. Погружной судовой насос СПГ раннего образца

- *грузовые насосы*, предназначенные для выдачи продукта, – самые крупные, имеют одну или две ступени и производительность до 2100 м³/ч;
- *аварийные насосы* предназначены для выкачки продукта из танка в случае неисправности основных грузовых насосов или систем;
- *распыляющие насосы* предназначены для первичного охлаждения танка и его поддержания в захлаженном состоянии, так как охлаждение такого объема металла с температуры окружающей среды является крайне длительной и технологически сложной процедурой. Дополнительно они могут использоваться для питания испарителя судовой энергетической установки или выкачки остатков продукта.

Судовые погружные насосы также отличаются по способу установки. Грузовые и распыляющие, как правило, устанавливаются неподвижно, подвешивая к напорному трубопроводу и дополнительно закрепляя на судовом фундаменте, связанном с набором корпуса, если это допускается конструкцией танка.

Аварийные насосы устанавливают в колонну (рис. 3) [5, рис. 5]. У нижнего основания колонны закрепляется клапан нормально закрытого типа, называемый донным. Донный клапан позволяет устанавливать и извлекать насос при наличии жидкости в танке: например, частичный подъем насоса в колонне закрывает клапан и позволяет осушить

колонну газообразным азотом. Таким образом обеспечивается безопасная установка насоса в случае, если откажут главные грузовые насосы.

Для судовых насосов, предназначенных для перекачивания сжиженных газов, к 80-м гг. XX в. успела сформироваться конструкция, с незначительными изменениями применяемая по настоящее время. На рис. 4 [5, рис. 6] схематично показана конструкция типового грузового/распыляющего погружного СПГ насоса. Насос полностью погружается в сжиженный газ, охлаждение подшипников и электродвигателя выполняется перекачиваемой средой. Часто применяют фильтры, так как в ходе различных технологических процессов в газе могут появиться различные взвешенные частицы. Основными узлами являются:

- гидравлическая часть, включающая в себя колесо (колеса) закрытого типа и направляющие аппараты;
- подшипники;
- шнек;
- электродвигатель и кабели.

Перед рабочим колесом первой ступени устанавливается шнек, что обусловлено характерной для перекачивания низкокипящих жидкостей проблемой кавитации. В отсутствие шнека показатели потребного кавитационного запаса не позволяли проводить достаточно полную выкачку продукта из танка, что ухудшало экономичность насосов. Имеющее место испарение жидкости приводило к повышенному

износу и повреждению подшипников, ухудшению условий охлаждения двигателя. Так как эти показатели напрямую связаны с длительностью безремонтной эксплуатации агрегата, именно их обеспечение является главной задачей при решении проблемы кавитации в насосах сжиженных газов. Для развитого типа судового криогенного насоса характерно наличие спиралевидного шнека. Улучшение характеристик комплекса шнек–колесо – одна из основных тенденций в области совершенствования судовых погружных насосов. В современных конструкциях используются специально спрофилированные шнеки, например шнеки с повышенными значениями удельной скорости всаса. Так, точное профилирование позволяет снизить требуемый кавитационный запас от 0,4 до 0,15 м с обеспечением КПД насоса до 77% [15, 16]. Конструкция и основные положения проектирования при этом часто заимствуются из области аэрокосмической индустрии, а именно топливных насосов жидкостных ракетных двигателей.

Продолжает активно развиваться направление криогенных подшипников. Как правило, роторная сборка устанавливается в подшипники качения. От обычных промышленных подшипников они отличаются величинами внутренних радиальных зазоров и применением специальных материалов. Предотвращение патологических явлений износа осуществляется за счет введения в зону трения графитовой смазки (пропитка обоймы), применения для тел качения керамических материалов [17], использования металлофторопластовых сепараторов [18]. Обоймы изготавливаются из сталей и сплавов, обладающих высокой термостабильностью. Охлаждение и смазка подшипников осуществляется за счет прокачки через них жидких газов. Показательна одна из первых разработок таких подшипников в криогенных насосах [19]. В ней используются однорядные шарикоподшипники с глубокой канавкой и алюминиевым сепаратором, в который вкладываются кольца из фторопласта, пропитанного бронзой. Весовое отношение фторопласта к бронзе в составе колец – 40 : 60. Материал обеспечивает высокие антифрикционные свойства, обладает способностью к самосмазыванию и позволяет значительно увеличить продолжительность безремонтной эксплуатации [20].

Другой формирующей тенденцией проблемы является проблема компенсации осевых сил как одной из основных причин повышенного износа подшипников. Степень технического совершенства насоса, соответственно, характеризуется, в том числе, эффективностью их снижения.

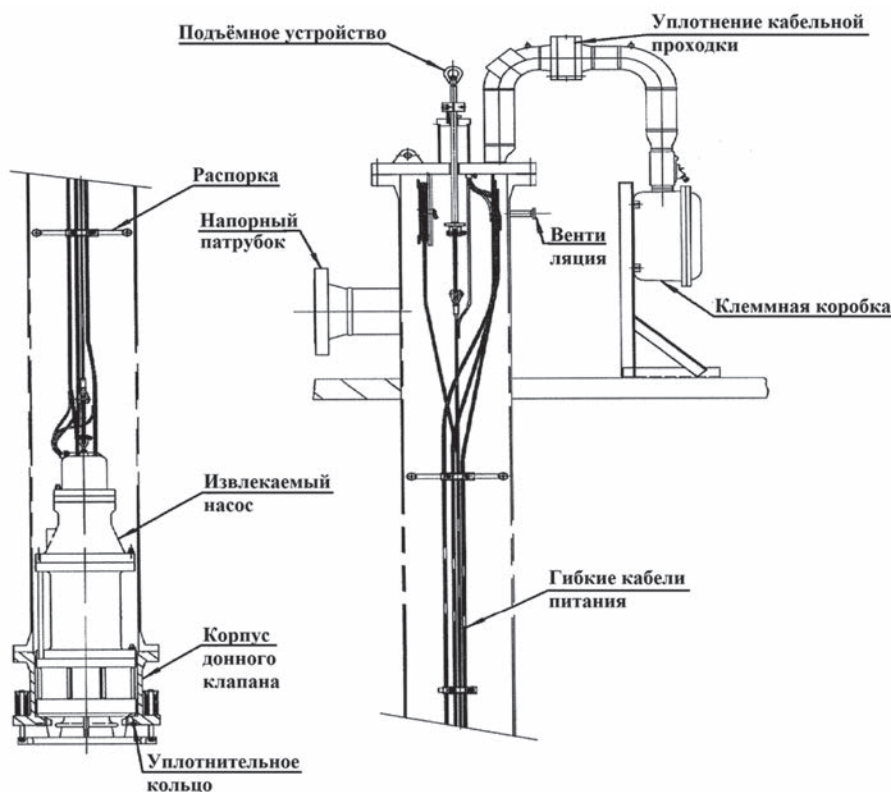


Рис. 3. Насос извлекаемого типа

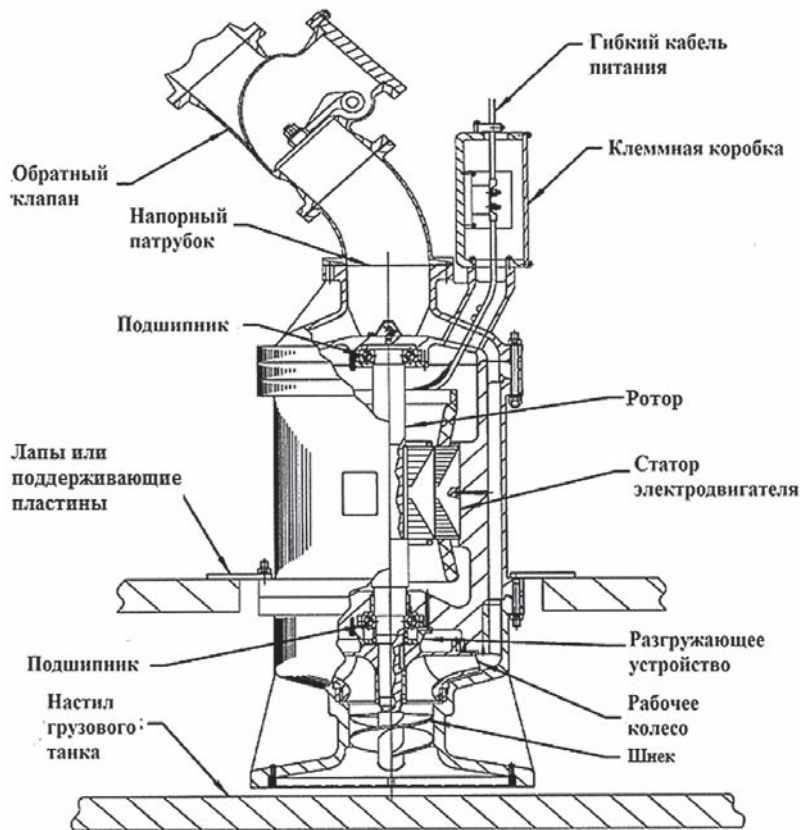


Рис. 4. Типовая конструкция погружного грузового/распыляющего насоса СГ

В общепромышленных и специальных насосах с вертикальным расположением ротора осевые усилия в основном воспринимаются упорными подшипниками. Однако в погружных насосах СГ их применение ограничено в силу низкой несущей способности сжиженных газов и закипания жидкости в зоне непосредственного контакта. Таким образом, реализация режима жидкостного трения в узле опорного подшипника, изготовленного по традиционной конструкции (например, типа подшипника Кингсбери), остается крайне затруднительной. В свою очередь, из-за непрочности и кратковременности существования вторичных структур потенциально возможно возникновение схватывания, заедания и других неприемлемых видов повреждений.

Трудности, связанные с разработкой упорных подшипников, привели к тому, что в первых насосах с незначительными осевыми усилиями их компенсация вообще не выполнялась. Однако необходимость повышения ресурса агрегатов и их надежности обусловили внедрение различных подходов к уравновешиванию этих усилий. К настоящему времени в серийных образцах насосов используются [21]:

- тандемное расположение рабочих колес. Известный и применяемый в многоступенчатых общепромышленных насосах способ используется

также и в погружных криогенных насосах. Симметричное расположение колес способно уменьшить осевую нагрузку практически до нуля [22]. Применение такого способа может быть ограничено из-за нечетного числа рабочих колес и сравнительно невысоких напоров насосов. Недостаток давления для адекватной работы системы уравновешивания компенсируется в таких конструкциях гидропятами. Так как эта гидропята выполняет только вспомогательную функцию, ее размеры и масса значительно ниже, чем при ее изолированном использовании;

- отверстия в ведущих дисках рабочих колес. Такие отверстия позволяют выровнять поля давлений перед входом в колесо и на тыльной стороне ведущего диска. При этом критически важными для работоспособности оказываются такие параметры, как размер, число и положение перепускных отверстий. Как и для насосов общепромышленного применения, в отношении погружных криогенных насосов этот способ наиболее выгоден для одноступенчатых агрегатов или для серийных машин с близкими или совпадающими гидравлическими показателями. Соответственно, для них параметры системы разгрузки (характеристики отверстий) могут быть аппрок-

симированы с достаточно высокой точностью и подтверждены на испытаниях. Этот способ крайне чувствителен к загрязнению рабочей среды, а спроектированная с недочетами система может значительно снизить КПД насоса из-за возникновения нежелательных реологических явлений в каналах колес;

- системы с дросселями или думмиса (типа ТЕМ [23], гидропята или думмиса). Основные рабочие элементы – фиксированный зазор, камера, регулируемый зазор. Конструктивно оформляются в виде комбинации динамического уплотнения (лабиринтного или щелевого), статичного подпятника и подвижной пяты. Способ показал себя весьма эффективным для многоступенчатых криогенных насосов, насосов, подвергаемых доработке, или единичных изделий. Тем не менее износ кольца уплотнения может вести к раскрытию расчетного зазора и снижению результирующей силы, обеспечивающей всплытие ротора. В результате возможно возникновение отказов по причине разрушения подшипников либо схватывания деталей ротора с поверхностями деталей корпуса.

Определяющими параметрами для выбора способа разгрузки в погружных насосах для перекачивания СГ можно считать способность системы разгрузки выполнять требуемые функции в течение всего времени эксплуатации в широком диапазоне подач, простоту методов расчета и малую зависимость от последствий износа. В наибольшей степени данным критериям удовлетворяет способ разгрузки с использованием дросселей. Его повсеместное применение в большинстве современных насосов можно рассматривать как свидетельство оправданности и рациональности такого решения. Этот способ не требует трудоемких расчетов, эффективен для большей части рабочего диапазона подач и сохраняет свою эффективность в течение жизненного цикла агрегата.

Одним из развивающихся направлений является разработка судовых насосов, способных перекачивать различные виды сжиженных газов [24]. Одна из причин интереса к универсальным насосам – высокий спрос на этан, являющийся сырьем для производства пластмасс (например, полиэтилена), и увеличившийся вместе с добычей природного газа объем получаемых попутных газов (пропан, бутан и др.). Так как на одном заводе часто производятся сразу несколько видов сжиженных газов, экономическая эффективность предприятия может быть увеличена, если обработка и транспортировка СГ про-

изводится с применением универсального оборудования. Соответственно, в ряде случаев приспособление насосов для перекачки разных углеводородов, отличающихся физико-химическими свойствами и транспортируемыми при различных температурах, может быть оправданно.

Традиционно погружные электронасосы разрабатываются для одной среды или сред, близких по свойствам. Фактически до недавнего времени универсальные насосы СГ не изготавливались из-за присущих процессам их разработки сложностей:

- необходимости учета различной вязкости и плотности при гидравлических расчетах;
- трудности подбора материалов, способных работать как при криогенной температуре, так и при естественных температурах, выдерживать значительные температурные колебания;
- необходимости учета различной охлаждающей и смазывающей способности среды по отношению к электродвигателю и подшипникам;
- трудности надлежащего выбора конструкции, включая допуски и посадки, способные обеспечить необходимые натяги и зазоры в широком диапазоне температур.

Первые универсальные насосы сжиженных газов были применены на газовозах «Кристалл этана» и «Изумруд этана», транспортирующих сжиженный этан из США в Индию [24]. Появившаяся в дальнейшем необходимость в перевозке СПГ и этилена потребовала изменить применявшиеся в составе насосов материалы и сами принципы их подбора. Чтобы расширить диапазон допустимых температур среды и обеспечить возможность ее транспортировки корпуса подшипников вместо алюминиевых сплавов были изготовлены из хладостойкой нержавеющей стали, что позволило избежать нежелательного влияния температурных деформаций на стальные элементы подшипников. Также был сознательно расширен зазор в динамических уплотнениях для предотвращения их заедания. Несмотря на сложности, сопутствующие подобному подходу, можно отметить, что распространение таких насосов в перспективе способно привести к появлению универсальных газовозов.

Таким образом, наиболее актуальными и востребованными направлениями развития погружных криогенных насосов, в особенности судовых, являются улучшение кавитационных характеристик путем разработки методов расчета и испытаний предвключенных ступеней

новых форм и конфигураций, повышение долговечности насосов за счет исследования средств и способов повышения ресурса узлов трения, расширение областей применения насосов для обеспечения возможности их работы с широкой номенклатурой перекачиваемых жидкостей. В условиях наблюдающейся в настоящее время монополизации рынка погружных криогенных насосов опережающее освоение и развитие данных технологий может позволить организациям-разработчикам сохранить свое влияние или претендовать на укрепление позиций. Кроме того, развитие в рамках отмеченных направлений важно для отечественных организаций-производителей и эксплуатантов, так как снижает степень их зависимости от импортных технологий и оборудования. Накопленный в мировой практике опыт позволяет эффективно вести эти разработки, достигая новых научно-технических результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В.В. Современные тенденции развития мирового рынка СПГ // Российский внешнеэкономический вестник. – 2020. – №3.
2. Полаева Г.Б., Копытин И.А. Региональные рынки газа. Сравнительный анализ // Инновации и инвестиции. – 2020. – №2.
3. Буренин В.В., Дронов П.В., Воробьев Е.В. Конструкции насосов для криогенных жидкостей. Насосостроение. – Сер. ХМ-4. – М.: Изд. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1981. – 45 с.
4. Баскаков С.П. Перевозка сжиженных газов морем. Учеб. пособие. – СПб.: Судостроение, 2001. – 272 с.
5. Бабикова Д.С. Насосы для перекачивания криогенных продуктов: обзор конструкций и перспективы развития // Политехнический молодежный журнал. – 2019. – № 10(39). – <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-10-537>
6. Фёдорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. – М.: Изд. РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. – 159 с.
7. Rush S., Hall L. Tutorial on cryogenic submerged electric motor pumps. – Proceedings of the International Pump 137 Users Symposium (2001): Texas Engineering Experiment Station, 2001. – P. 101–108.
8. Weisser G.L. Modern Submersible Pumps for cryogenic Liquids // World Pumps. – 1994. – Jan.
9. Gavin T., Ray S. Chemical Engineering Design Principles: Practice and Economics of Plant and Process Design. – 2nd ed. – Butterworth-Heinemann, 2012. – 1320 p.
10. Cullen D.M., Haesloop D.M., Kimmel H.E. A Testing Time for Pumps In Cold Boiling Liquids // Gastech: proceedings. – Kuala Lumpur, 1994.

11. Fooks R. Natural Gas by Sea. – United Kingdom: Witherby & Co., 1993. – 234 p.
12. Noble P.G. A Short History of LNG Shipping: 1959 – 2009 // Texas Section – Society of Naval Architects & Marine Engineers. – 2009/ – [Электронный ресурс]. URL: <https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/SNAME/1dcdb863-8881-4263-af8d-530101f64412/Uploaded-Files/c3352777fcaac4daa8f125c0a7c03e9.pdf> (дата обращения 29.08.2020).
13. Сорокин А.В., Черняк Л.М. Сжиженный метан за рубежом – М.: Недра, 1965. – 135 с.
14. Karakas E., Wonhof E. A history of pumps in LNG // LNG Industry. – February 2018. – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elliott-turbo.com/Files/Admin/Articles/pumps-in-lng-history.pdf> (дата обращения 29.08.2020).
15. Atlas Copco Gas and Process Solutions. The Next Generation of Pump Technology / Atlas Copco, 2011/ – [Электронный ресурс]. URL: http://www.eaco.com.mx/pdf/The_next_generation_of_pump_technology_579_bro_jc_carter_a4_190811_single.pdf (дата обращения 29.08.2020).
16. Rush S. Speed control // LNG Industry. – June 2014/ – [Электронный ресурс]. URL: <https://nikkisocryo.com/articles/speed.pdf> (дата обращения 29.08.2020).
17. History of Space Shuttle Main Engine Turbopump Bearing Testing at the Marshall Space Flight Center / Howard Gibson, Robert Thom, Chip Moore, Dave Haluck // NASA Technical Reports Server (NTRS). – 2010/ – [Электронный ресурс]. URL: https://archive.org/details/NASA_NTRS_Archive_20100023061/mode/2up (дата обращения – 05.03.2021).
18. Gabelli A., Kahlman L. Bearings that heal themselves // SKF Evolution magazine. – 1999. – №3. – P. 26–29.
19. Патент 3,494,291 (United States). Bearing Assembly: Ser. No.: 675,213; filed Oct 13, 1967; patented Feb. 10, 1970 / Thomas A. Carter Jr. – 4 p.
20. Воронков Б.Д. Подшипники сухого трения. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, ЛО, 1979. – 224 с.
21. Geldmacher M. Balancing act // LNG Industry. – March 2015. – [Электронный ресурс]. URL: <https://nikkisocryo.com/articles/balance.pdf> (дата обращения 29.08.2020).
22. Shinko SMB. Submerged Liquefied Gas Pump / Shinko Ind. Ltd. – 2015. – [Электронный ресурс]. URL: <http://www.shinkohir.co.jp/pdf/catalog/SMB.pdf> (дата обращения 29.08.2020).
23. Патент 2014/0037424 (United States), МПК: F04D 29/041. Thrust Balancing Device for Cryogenic Fluid Pump: Appl. No. 13/957,305; filed Aug. 1, 2013; patented Feb. 6, 2014 / Joel V. Madison. – 10 p.
24. Campos C. A revolution propelled by pumps // LNG Industry. – 2019. September/ – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elliott-turbo.com/Files/Admin/Literature/a-revolution-propelled-by-pumps.pdf> (дата обращения 29.08.2020). ■

ВВЕДЕНИЕ

Из большого разнообразия конструкций двухступенчатых лопастных движителей рассмотрим движители, две ступени которых могут работать в реактивном режиме и, кроме того, изменять направление упора в широком диапазоне углов. Такие движители называются многофункциональными, так как обеспечивают судну следующие режимы: полный ход, маневрирование во всем диапазоне скоростей, малый ход с сохранением управляемости. Были рассмотрены средства улучшения эксплуатационных характеристик двухступенчатых лопастных движителей, конструкции которых запатентованы авторами. Под эксплуатационными характеристиками движителей понимаем прежде всего гидродинамическую эффективность и надежность конструкций. Эти качества движителей на протяжении всей истории их создания были актуальными, как и в настоящее время, что подтверждается требованиями Международной морской организации (ИМО) к энергетической эффективности судов** [1] и защите морской среды. Многофункциональные двухступенчатые лопастные движители (МДЛД), предложенные авторами, можно разделить на два вида: движители, в которых задняя ступень выполнена в виде двухрежимного контрпропеллера, и движительно-рулевые колонки (ДРК) с электрической передачей мощности на соосные гребные винты противоположного вращения (СГВ). Рассмотрим последовательно эти виды движителей, результаты модельных исследований и средства улучшения их эксплуатационных характеристик.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ДВУХСТУПЕНЧАТЫЕ ЛОПАСТНЫЕ ДВИЖИТЕЛИ С ДВУХРЕЖИМНЫМ КОНТРПРОПЕЛЛЕРОМ

Первая конструкция МДЛД с двухрежимным контрпропеллером, как и способ движения и маневрирования судна с этим движителем были запатентованы в 1997 г. [2]. Новизна технического решения заключалась в том, что кормовая ступень движителя, выполненная в виде контрпропеллера регулируемого шага, может работать как в реактивном, так и активном (т. е. без передачи мощности на контрпропеллер) режимах. На рис. 1 показаны основные режимы работы МДЛД с двухрежимным контрпропеллером. Способность кормовой ступени МДЛД работать на двух режимах (реактивном и активном) обеспечивает энергосбережение на полном ходу (см. рис. 1, а) и маневрирование на малом ходу (см. рис. 1, в, г), выполняя на малом ходу функции поворотной колонки. Кроме того, появилась возможность дублирования элементов пропульсивного комплекса, что важно для обеспечения безопасности мореплавания.

Реализация технической идеи, сформулированной в патенте [2], подразумевает решение инженерных задач из области гидродинамики (проектирование лопастной системы двухрежимного контрпропеллера) и механики (проектирование механизмов поворотной колонки).

* Эта статья была представлена авторами в качестве доклада на 24-м симпозиуме «Theory and Practice of Shipbuilding» SORTA2020 («Теория и практика судостроения»), организованного Университетом г. Риеки (University of Rijeka) в режиме online-event, Хорватия, 15-16 октября 2020 г.

** Сравнивается достигаемый индекс энергетической эффективности (Attained Energy Efficiency Design Index – EEDI) с требуемым значением Required EEDI [1]. По правилам ИМО должно выполняться условие Attained EEDI ≤ Required EEDI.

СРЕДСТВА УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ ЛОПАСТНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ*

С.Л. Анчиков, зам. ген. директора,
А.Р. Тогуняц, канд. техн. наук, инженер,
АО «Научно-производственное предприятие «Морская техника»,
Л.И. Вишневский, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
контакт. тел. (812) 327 2802, +7(921)337 2652

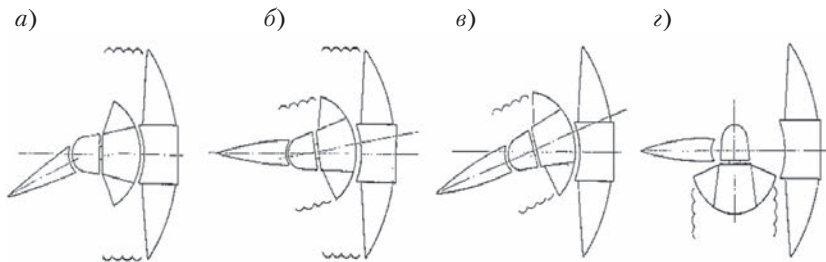


Рис. 1. Принципиальные схемы работы МДЛД с двухрежимным контрпропеллером на основных режимах: а – полный ход и маневрирование, контрпропеллер неподвижен (активный режим); б – работа движителя в режиме гребных винтов противоположного вращения (промежуточный режим); в – малый или аварийный ход и маневрирование, контрпропеллер работает в реактивном режиме (тянущий винт); г – маневрирование, контрпропеллер работает в реактивном режиме (толкающий винт); ○○○○ – реактивный режим

Гидродинамика двухрежимного контрпропеллера, периодически работающего на двух существенно различающихся режимах обтекания (реактивном и активном), не была исследована. Для рационального подхода к проектированию лопастей такого контрпропеллера необходимо было исследовать его гидродинамику граничных вариантов геометрии лопастей, т. е. спроектированных для режима энергосбережения (см. рис. 1, а) и для реактивного режима (см. рис. 1, в). Кроме того, интерес представлял поиск компромиссного варианта геометрии лопастей, учитывающий особенности их обтекания на реактивном и активном режимах.

Первая расчетная оценка была выполнена для контрпропеллера, спроектированного на режим энергосбережения (см. рис. 1, а). За счет неоптимального распределения радиальной нагрузки на реактивном режиме потери в КПД по выполненной оценке составили 8–12% [3,4]. Это было связано с тем, что лопасти были спроектированы на активный режим. Экспериментальные исследования в кавитационной трубе специальных движителей (КТСД) «Крыловского государственного научного центра» (КГНЦ), показали, что потери по КПД превышают расчетные и составляют 16–17% (рис. 2) [5, 6].

Изучение гидродинамики МДЛД с двухрежимным контрпропеллером было продолжено в опытовом бассейне КГНЦ за корпусом модели рыболовного судна [7] (рис. 3). Установка руля за МДЛД, как и следовало ожидать, положительно повлияла на пропульсивные характеристики судна при работе контрпропеллера в реактивном режиме и гидродинамические потери, обусловленные неоптимальной геометрией контрпропеллера, спроектированного на режим энергосбережения, уменьшились до 3% [6, 7]. Сравнение выполнялось с винтом

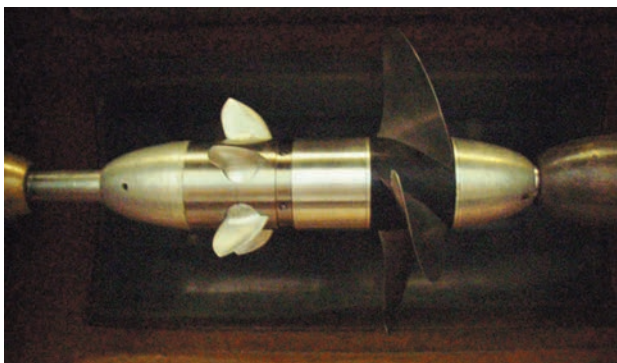
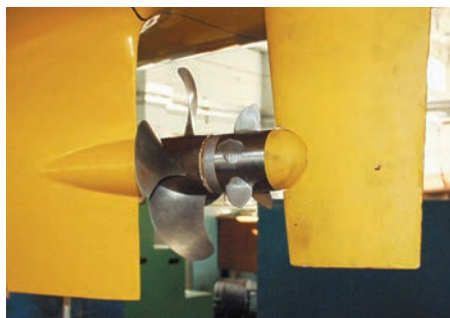


Рис. 2. Модель МДЛД с контрпропеллером в рабочем участке КТСД, режим энергосбережения (см. рис. 1, а)

а)



б)



Рис. 3. Модель МДЛД с контрпропеллером за корпусом судна: а – режим энергосбережения, моделирование полного хода (см. рис. 1, а); б – моделирование малого хода (см. рис. 1, б)

регулируемого шага малого диаметра [8], оптимального по геометрии для режима малого хода [6, 7]. Значительное улучшение гидродинамической эффективности МДЛД по сравнению с данными испытаний в равномерном потоке в КТСД можно объяснить наличием руля за контрпропеллером (руль устраняет отрицательное влияние ступичного вихря, утилизирует энергию закрученной струи за контрпропеллером и нивелирует недостатки в геометрии их лопастей) и положительным влиянием радиальной неоднородности потока за корпусом модели судна.

Основные результаты модельных исследований гидродинамики МДЛД сводятся к следующему [4, 6, 9]:

- МДЛД при проектировании контрпропеллера из условия полной раскрутки потока за гребным винтом на полном ходу судна (т. е. на активный режим) обеспечивает энергосбережение 6–7%;
- поиск компромиссных решений при выборе геометрии лопастей контрпропеллера показал, что сброс нагрузки на периферийных участках его лопастей приводит к незначительному повышению гидродинамической эффективности (на реактивном режиме примерно на 1%) и существенно уменьшает эффект энергосбережения (более чем в 2 раза);
- при компоновке МДЛД на судне для эффективной работы двигателя на режиме малого или аварийного хода (см.

рис. 1, б) следует расположить руль за контрпропеллером (за задней ступенью МДЛД);

- контрпропеллер, спроектированный на активный режим, в случае расположения за ним руля является эффективным двигателем и на реактивном режиме, уступая по гидродинамической эффективности оптимальному гребному винту малого диаметра (равным диаметру контрпропеллера) примерно на 3%.

Модельные исследования гидродинамики МДЛД показали, что конструкция двигателя по патенту № 2098316 [2] имеет недостатки и может быть усовершенствована. Рассмотрим эти недостатки и две улучшенные конструкции МДЛД [2].

Исследования гидродинамики контрпропеллера на реактивном режиме показали, как отмечалось, существенную зависимость его гидродинамической эффективности от наличия руля за контрпропеллером. Таким образом, при создании поперечного упора T толкающим контрпропеллером (см. рис. 1, з), например, при швартовке судна, гидродинамическая эффективность МДЛД, запатентованного нами [2], снизится из-за потерь на закрутку потока, так как при повороте контрпропеллера на 90° для создания поперечной силы за ним руль отсутствует. Для тянущего контрпропеллера данного МДЛД гидродинамическая эффективность снижается также из-за наличия в спутной струе за ним элементов руля судна, препятствующих ее формированию. На рис. 4 представлен эскиз МДЛД, конструкция которого лишена указанных недостатков благодаря малому рулю 4 и вырезу в руле. Этот двигатель защищен патентом на полезную модель № 147957 [10].

а)

б)

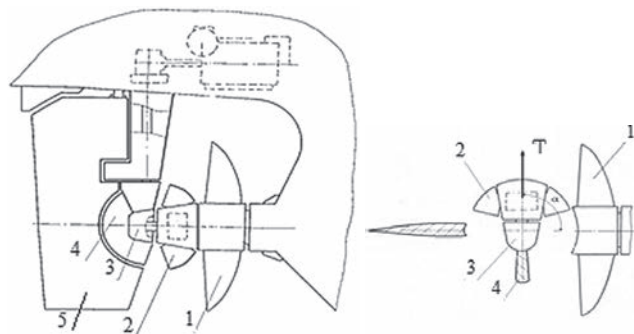
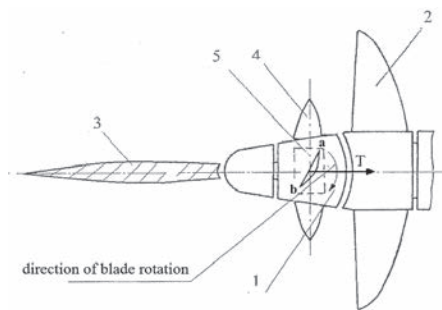


Рис. 4. Двухступенчатый лопастной двигатель-рулевой комплекс [10]: а – вид сбоку, передний ход; б – условный вид сверху, швартовка
1 – гребной винт; 2 – контрпропеллер; 3 – обтекатель; 4 – малый руль; 5 – руль

Еще одним недостатком МДЛД [2] является пониженная гидродинамическая эффективность контрпропеллера на режиме заднего хода. Обратной тяга достигается благодаря изменению направления вращения контрпропеллера, т. е. как на винте фиксированного шага (ВФШ). При этом условия обтекания лопастей контрпропеллера, как известно, становятся крайне неблагоприятными для достижения их максимальной гидродинамической эффективности: входящая кромка становится выходящей, а засасывающая поверхность лопасти – нагнетающей. Для устранения этого недостатка в МДЛД по патенту [11] механизм изменения шага контрпропеллера выполнен с дополнительной возможностью поворота лопастей через их флюгерное положение и установки их шага для работы на задний ход судна без изменения направления его вращения (рис. 5). При этом техническом решении засасывающая поверхность лопасти остается засасывающей, что значительно улучшает тяговые характеристики контрпропеллера. Например, по данным модельных испытаний контрпропеллеров на швартовном режиме, упор увеличился в 1,5 раза [9, 12].

В настоящее время стадию внедрения МДЛД с двухрежимным контрпропеллером можно оценить как начальную. К

a)



б)

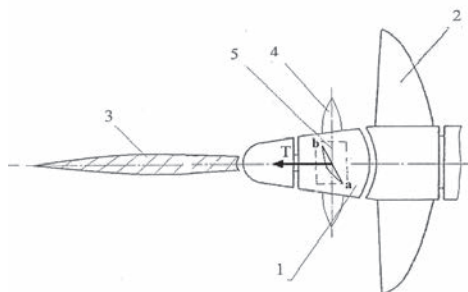


Рис. 5. МДЛД с двухрежимным контрпропеллером в трехустановочном варианте [11]: а – передний ход; б – задний ход

1 – контрпропеллер; 2 – гребной винт; 3 – руль; 4 – лопасть контрпропеллера; 5 – механизм изменения шага

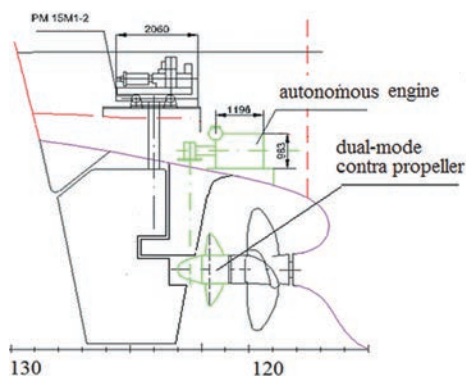


Рис. 6. Кормовая оконечность ТР-1500 с альтернативной пропульсивной установкой с двухрежимным контрпропеллером в качестве движителя

работам, способствующим внедрению, можно отнести разработку концептуального проекта транспортного рефрижератора (ТР-1500), выполненного институтом «Гипрорыбфлот», в рамках которого рассматривалось применение МДЛД с двухрежимным контрпропеллером [13,14]. В частности, была рассмотрена компоновка кормовой оконечности судна (рис. 6). Выполненная проработка показала совместимость размещения альтернативной пропульсивной установки и рулевой машины. В качестве двигателя альтернативной пропульсивной установки был выбран дизель морского исполнения С9 Arcset фирмы Caterpillar мощностью 375 кВт. Его размещение в корпусе судна не препятствует установке рулевой машины российского производства РМ 15 М1-2. Автономный двигатель и рулевая машина должны быть разнесены по высоте и размещены на разных палубах. К преимуществам использования на судне ТР-1500 МДЛД с двухрежимным контрпропеллером следует отнести:

- уменьшение потребной мощности на скорости полного хода 14,5 уз примерно на 6% (≈ 200 кВт);
- обеспечение альтернативной пропульсивной установкой скорости аварийного хода (при отказе главной пропуль-

сивной установки) не менее 7 уз и, соответственно, получение дополнительного знака RP-1А к основному символу класса Российского морского регистра судоходства, свидетельствующего о резервировании элементов пропульсивной установки;

- выполнение задней ступенью МДЛД на малых ходах и при швартовке функций движительно-рулевой колонки и, соответственно, исключение необходимости установки на судне кормового подруливающего устройства.

Кроме того, шагом к внедрению рассматриваемой конструкции движителя относится разработка Научно-производственным объединением «Винт» технического проекта движительно-рулевого устройства с двухрежимным контрпропеллером ДРУ500 мощностью 500 кВт [9].

ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВЫЕ КОЛОНКИ (ДРК) С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ МОЩНОСТИ НА СООСНЫЕ ГРЕБНЫЕ ВИНТЫ ПРОТИВОПОЛОЖНОГО ВРАЩЕНИЯ

В настоящее время в мировом судостроении нашли широкое применение соосные гребные винты (СГВ) [15]. Привлекательность СГВ объясняется их высокой гидродинамической эффективностью: они могут превосходить по КПД одиночные гребные винты на 10–12%. Хорошо известны ДРК британской фирмы Rolls-Royce (тип Contax, диапазон мощностей 1800–5200 кВт), финской фирмы Steerprop (800–25 000 кВт), шведской фирмы Volvo Penta (190–660 кВт). На всех перечисленных ДРК применяется механическая передача мощности на СГВ. Следующим шагом в совершенствовании движителей является разработка ДРК с электрической передачей мощности на СГВ, которая избавит существующие ДРК от недостатков механической передачи и приведет к следующим положительным результатам [6]:

- лопастная система движителя сможет выдерживать значительные перегрузки по моменту, что снимет ограничения по работе в ледовых условиях и позволит применять СГВ на судах ледового плавания;
- увеличится гидродинамическая эффективность СГВ на режимах, отличных от проектного, что особенно важно для ДРК, работающих в широком диапазоне эксплуатационных нагрузок;
- для ДРК с двумя электродвигателями появится возможность дополнительного дублирования элементов пропульсивного комплекса и, следовательно, повысится безопасность мореплавания.

Конструкции ДРК с электрической передачей мощности на СГВ были предложены в России еще в 1998 г. [16,17], а первая практическая реализация движителя этого типа была осуществлена в Японии в 2004 г. для инновационного судна «The Super Eco-Ship» [18]. Однако информация об его использовании на судне отсутствует.

Тенденции развития электротехники позволяют прогнозировать создание в ближайшем будущем эффективных и надежных. В то же время существуют вопросы из области гидродинамики СГВ, требующие более детального исследования для его успешного проектирования в составе многофункциональных движителей. К таким исследованиям относятся:

- определение гидродинамических характеристик СГВ на больших нагрузках, включая швартовный режим, при условии равномоментности гребных винтов;
- исследование работы СГВ на режимах реверса и в направляющей насадке.

Применение направляющей насадки является очевидным техническим решением для увеличения гидродинамической эффективности СГВ на больших нагрузках. Движители (рис. 7), имеющие патент [16,17], имеют (как вариант исполнения) направляющую насадку.

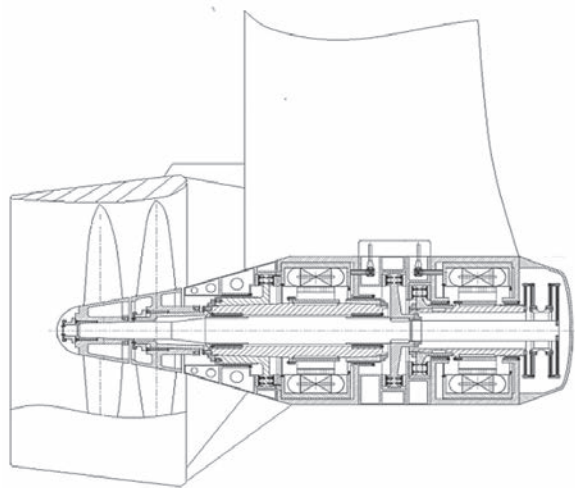


Рис. 7. ДРК с электрической передачей мощности на СГВ в направляющей насадке по патенту Российской Федерации № 2115589 [16]

Для иллюстрации положительного влияния направляющей насадки на гидродинамическую эффективность на рис. 8 представлена зависимость КПД η_p лопастных движителей различных конструкций в функции от нагрузки, характеризуемой коэффициентом нагрузки по упору $C_m = 2T/\rho V_A^2 A_0$ (где T – упор гребного винта, ρ – плотность воды, V_A – поступательная скорость гребного винта, A_0 – площадь диска гребного винта) [19].

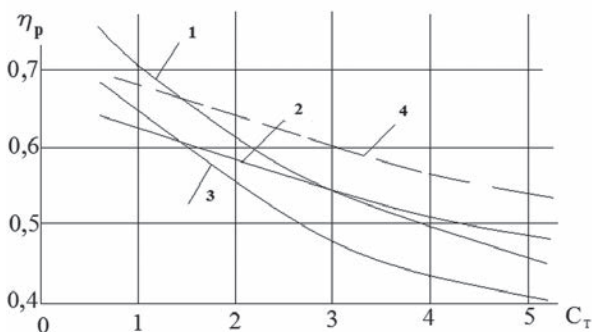


Рис. 8. Сравнение КПД η_p движителей, дисковое отношение $A_p/A_0 \approx 1,0$

1 – соосные гребные винты противоположного вращения (СГВ); 2 – комплекс одиночный гребной винт–направляющая насадка; 3 – одиночный гребной винт; 4 – комплекс СГВ–направляющая насадка (предполагаемая зависимость)

Предполагаемая зависимость $\eta_p = f(C_m)$ для СГВ в направляющей насадке (рис. 8, 4) получена из оценки установленного при гидродинамических исследованиях преимущества открытых СГВ по сравнению с одиночным гребным винтом, как открытым, так и в насадке. Исследования показали, что СГВ в диапазоне нагрузок $C_m = 0,6-5,0$ имеют КПД на 10–12% больше по сравнению с открытым одиночным винтом при равенстве дискового отношения одиночных винтов и суммарного значения для СГВ [19]. Предполагается, что это же преимущество сохранится для СГВ в направляющей насадке и одиночного гребного винта в направляющей насадке. Как показала оценка, преимущество по КПД при использовании направляющей насадки с СГВ будет наблюдаться при нагрузке $C_m > 1,5$. При $C_m = 2,0$ выигрыш составит около 5%, а при $C_m > 3,0$ уже более 10%. Более точное соотношение КПД может быть установлено в ходе сравнительных модельных испытаний, дополненных исследованием профилирования насадки и рациональным размещением СГВ в ней.

ДРК с электрической передачей мощности на СГВ являются движителями нового поколения, для создания которых в настоящее время есть все предпосылки. Рассмотрим возможное применение ДРК с электрической передачей мощности на СГВ как альтернативу лопастных систем существующих ДРК. На судах отечественной постройки и судах под российским флагом (преимущественно это суда обеспечения, танкеры и ледоколы) широко используются установки фирмы АВВ типа Azipod (см. таблицу)[20].

Целесообразность выбора в пользу ДРК с электрической передачей мощности на СГВ для судов-аналогов будет определяться сопоставлением гидродинамической эффективности движителей. Экономия мощности на 10–12% следует ожидать, если дисковое отношение заменяемого одиночного ГВ A_p/A_0 составляет не менее 0,8–1,0. Именно с такими гребными винтами, как правило, используются ДРК типа Azipod. К судам, на которые целесообразно устанавливать ДРК с электрической передачей мощности на СГВ (в дополнение к типам судов, указанным в таблице), следует отнести и пассажирские суда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные авторами многофункциональные двухступенчатые лопастные движители с двухрежимным контрпропеллером и ДРК с электрической передачей мощности на СГВ принадлежат к наиболее сложным с технической точки зрения и находятся на начальной стадии внедрения. Движущей силой для дальнейших разрабо-

Таблица

Применение ДРК с электрической передачей мощности на гребной винт на судах ледового плавания российских компаний

Тип судна, количество sister ship	Длина $L_{ок}$, м	Ледовый класс РМРС*	Движитель, мощность, кВт	Скорость V_s , уз
Контейнеровоз «Норильский никель»	169	Arc7	Azipod, 13 000	15,5
Танкер «Василий Динков», 2	257	Arc6	Azipod, 2×10 000	15,7
Танкер «Михаил Ульянов», 1	257	Arc6	Azipod, 2×8 500	16,0
Газовоз «Кристоф де Маржери»	299	Arc7	Azipod, 3×15 000	19,5
Танкер «Штурман Альбанов», 6	245	Arc7	Azipod, 2×11 000	14,0
Танкер «Борис Соколов», 1	214	Arc7	Azipod, 2×11 000	13,0
Ледокольное судно обеспечения «Александр Санников», 1	121	Icebreaker 8	Azipod, 2×7 500 (кормовые) 1×6 500 (носовой)	16,0
Портовый ледокол «Обь»	89,5	Icebreaker 7	Azipod, 2×3 000(кормовые), 2×3 000(носовые)	15,0
Ледокольное судно обеспечения «Фёдор Ушаков», 3	99,9	Icebreaker 6	Azipod, 2×6 500	16,0

ток является преимуществом двухступенчатых лопастных движителей по гидродинамической эффективности на 4–12% по сравнению с традиционными движителями с одной ступенью. Выполненные исследовательские работы по улучшению эксплуатационных характеристик МДЛД позволяют заключить следующее:

1. Конструкция МДЛД с двухрежимным контрпропеллером и малым рулем, получившая патент [10], обеспечивает на режиме малого хода и на швартовах высокую гидродинамическую эффективность благодаря устранению отрицательного влияния ступичного вихря и закрутки потока в спутной струе за контрпропеллером.

2. Конструкция МДЛД с двухрежимным контрпропеллером в трехустановочном варианте, получившая патент [11], дополнительно обеспечивает режим заднего хода без изменения направления его вращения с установкой шага лопастей путем их поворота через флюгерное положение, что наиболее благоприятно для минимизации гидродинамических потерь на этом режиме.

3. Конструкции ДРК с электрической передачей мощности сможет выдерживать значительные перегрузки по моменту, что снимет ограничения по работе в ледовых условиях и распространит применение СГВ на суда ледового плавания

4. Конструкции ДРК с электрической передачей мощности на СГВ в насадке, получившая патент [16, 17], требуют дополнительных гидродинамических исследований по профилированию насадки с учетом рационального размещения СГВ в ней. Оценки показывают, что при нагрузке $C_m > 3,0$ положительный эффект по гидродинамической эффективности от применения направляющей насадки с СГВ составит более 10%.

Учитывая современный запрос морской индустрии на энергосбережение и обеспечение безопасности мореплавания, а также принимая во внимание достижения электротехники, можно прогнозировать создание ведущими производителями морской техники подобных движителей в ближайшее время.

ЛИТЕРАТУРА

1. IMO Train the Trainer (ТТТ) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 Ship Energy Efficiency Regulation and Related Guidelines. IMO, London, January 2016.
2. *Тогуняц А.Р.* Способ движения и маневрирования судна. Патент № 2098316// Официальный бюллетень ВНИИПИ «Изобретения». – 1997. – №34
3. *Togunjac A.R., Kaprancev S.V.* Estimation of Hydrodynamic Efficiency of Fishing Vessel's Two-Stage Multipurpose Propulsor. – Proceedings of 13th International Scientific and Professional Congress Theory and Practice of Shipbuilding, SORTA-1998, Zadar, 1998, p.181–190.
4. *Вишневецкий Л.И., Тогуняц А.Р.* Корабельные лопастные движители: Новые технические решения, результаты исследований. – СПб.: Судостроение, 2011.
5. *Togunjac A.R., Vishnevsky L.I., Morenshildt K.V.* Hydrodynamics Characteristics of the Dual-Mode Contra Propellers. – Proceedings of the XXI Symposium on Theory and Practice of Shipbuilding in Memoriam prof. Leopold Sorta, Baška, October 2–4, 2014, p.291–300.
6. *Вишневецкий Л.И., Тогуняц А.Р.* Гидродинамика корабельных лопастных движителей. Инновационные решения. – СПб.: Реноме, 2020.
7. *Togunjac A.R., Vishnevsky L.I., Kaprancev S.V.* Model Hydrodynamic Investigation of Two-Stage Multipurpose Propulsor Behind the Ship. – Proceedings of the XXII Symposium on Theory and Practice of Shipbuilding in Memoriam prof. Leopold Sorta, Trogir-Seget Donji, Croatia, October 6–8, 2016, p.215–223.
8. ОСТ 5.4129–75. Комплекс движительный гребной винт–направляющая насадка. Методика расчета и правила проектирования.
9. *Тогуняц А.Р., Вишневецкий Л.И.* Двухступенчатый лопастной движитель с двухрежимным контрпропеллером и его конструктивные решения// Тр. КГНЦ. – 2019. – Т.3. – №389. – С.83–94.
10. *Тогуняц А.Р., Вишневецкий Л.И.* Двухступенчатый лопастной движительно-рулевой комплекс. Патент на полезную модель № 147957// Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». – 2014. – № 32.
11. *Тогуняц А.Р., Вишневецкий Л.И., Анчиков С.Л.* Способ проектирования двухрежимного контрпропеллера в трехустановочном варианте и двухрежимный контрпропеллер в трехустановочном варианте. Патент на изобретение №2569996// Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». – 2015. – № 34
12. *Тогуняц А.Р., Вишневецкий Л.И.* Модельные исследования гидродинамических характеристик двухрежимного контрпропеллера на швартовах как средства активного управления// Морской вестник. – 2017. – № 1(61). – С.11–13.
13. *Тогуняц А.Р., Вишневецкий Л.И., Седых Е.А.* Опыт концептуального проектирования морских судов с альтернативной пропульсивной установкой, оснащенной двухрежимным контрпропеллером// Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – 2015. – Вып. 40/41.
14. *Togunjac A.B., R., Vishnevsky L.I., Sedykh E.A.* The conceptual design experience of seagoing ships with alternative propulsion system, equipped with dual-mode contra propeller// Journal of Shipping and Ocean Engineering. – 2016. – Vol. 6 (March-April). – №.2.
15. *Тогуняц А.Р., Анчиков С.Л., Вишневецкий Л.И.* Соосные гребные винты в зарубежном и отечественном судостроении// Морской вестник. – 2019. – № 4(72). – С.44–49.
16. *Бедкер В.Ф., Тогуняц А.Р.* Судовая движительно-двигательная установка типа «поворотная колонка». Патент №2115589// Официальный бюллетень «Изобретения». – 1998. – № 20.
17. *Бедкер В.Ф., Тогуняц А.Р.* Судовая движительно-двигательная установка типа «поворотная колонка». Патент №2119875// Официальный бюллетень «Изобретения». – 1998. – № 28.
18. The Super Eco-Ship. Class NK. – Magazine. – 57th Ed. – 2005.
19. *Турбал В.К.* Применение движителей новых типов на морских транспортных судах. Проблемы прикладной гидромеханики судна. – Л.: Судостроение, 1975.
20. *Штрек А.А.* Опыт компании Aker Arctic по созданию современных судов для Арктики. Тенденции развития арктического судостроения. – Международный форум «Судостроение в Арктике», Архангельск, 14–15 июня 2018 г. ■

Корпуса и конструкции судов и платформ, находящиеся в морской воде, подвержены обрастанию моллюсками, ракообразными рода *Balanus* и водорослями. Трубопроводы и оборудование судовых систем, контактирующее с забортной водой, также подвержены обрастанию. Наиболее активно покрываются биологическими отложениями решетки приемных кингстонных ящиков, участки систем с малой (менее 0,5 м/с) скоростью потока воды и теплообменные агрегаты. Работы по очистке судовых систем забортной воды (ССЗВ) от биологических отложений являются трудоемкими и часто требуют проведения докования судна. Очистка кингстонных ящиков крупных плавучих платформ и доков – еще более сложная техническая задача. Такие работы проводят с привлечением водолазов или дистанционно управляемых подводных аппаратов.

Несмотря на разнообразие методов борьбы с биообрастанием ССЗВ, наиболее эффективным является метод обогащения прокачиваемой забортной воды биоцидами. Широкое распространение на сегодняшний день получили системы, обогащающие прокачиваемую забортную воду ионами Cu^{2+} . Одновременное обогащение прокачиваемой воды ионами Al^{3+} или Fe^{2+} позволяет уменьшить коррозию трубопроводов и теплообменных аппаратов ССЗВ. Установки по обогащению прокачиваемой воды ионами металлов (электролизеры) являются основным узлом систем защиты от обрастания (Antifouling system, Marine growth prevention system, «Impressed current anti fouling»). Такие системы производятся рядом известных зарубежных фирм: Cathelco, Polipodio, Corrosion, Gefico и др. [1–3]. В состав типового комплекта системы защиты от обрастания входят электролизер и выпрямитель с двумя предварительно настроенными значениями выходного тока. Вода через электролизер прокачивается насосом ССЗВ, управление выпрямителем осуществляется беспотенциальными контактами пускателя насоса. Такой состав системы защиты применим только для ССЗВ с неразветвленными трубопроводами и одним насосом. Увеличение количества насосов, питающихся от разных кингстонных ящиков (КЯ), разделение трубопроводов запорной арматурой на участки приводит к изменению концентрации ионов металлов в прокачиваемой воде. Кроме того, приемный КЯ и участок трубопровода до электролизера остаются незащищенными.

В Российской Федерации подобные системы до настоящего времени не производились.

В 2020 г. АО «МНС» разработало систему защиты от обрастания, лишенную вышеуказанных недостатков. Струк-

СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ОТ ОБРАСТАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ЗАБОРТНОЙ ВОДЫ СУДА

Ю.А. Степанов, канд. техн. наук, вед. инженер АО «МНС»,
контакт. тел. (812) 320 3840

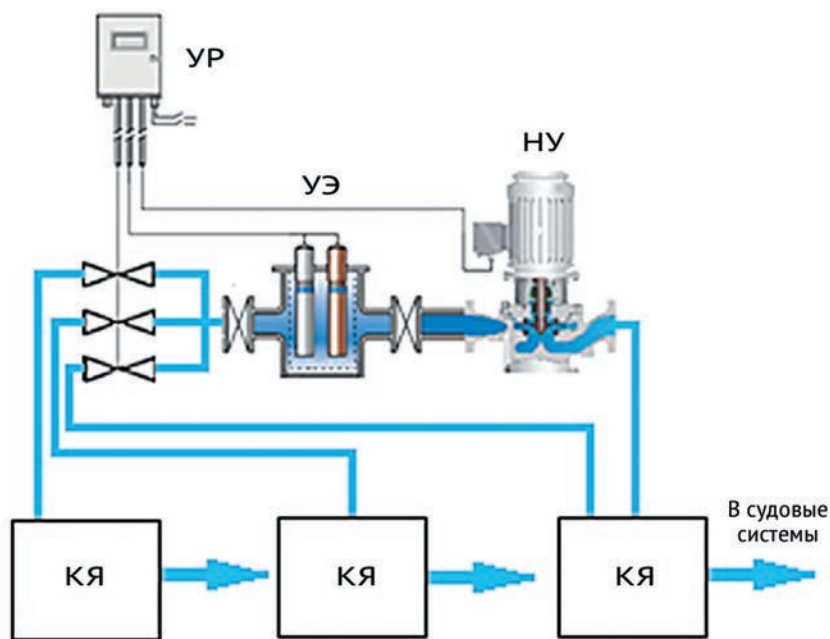


Рис. 1. Структурная схема системы защиты от обрастания

турная схема системы показана на рис. 1. Основной элемент системы – установка защиты от обрастания (УЗО) в составе насосного узла (НУ), узла электролиза (УЭ) и узла распределения (УР). Каждая УЗО защищает несколько КЯ и трубопроводы ССЗВ, питающиеся от этих КЯ. НУ прокачивает забортную воду через УЗО. УР в соответствии с составом действующих судовых насосов формирует ток УЭ заданной величины и посредством открытия клапанов управляет распределением обогащенной ионами металлов воды в защищаемые КЯ. Обогащенная вода смешивается с забортной и забирается судовыми насосами в трубопроводы.

В состав НУ входит следующее оборудование:

- насос центробежный постоянной производительности напором 0,65 МПа с пускателем и комплектом показывающих манометров;
- фильтр забортной воды с тонкостью фильтрации 0,3 мм;
- датчик – реле разности давлений для контроля перепада давления на фильтре;
- компенсаторы, комплект запорной арматуры.

Напор насоса позволяет располагать НУ в низко расположенных помещениях судов и компенсировать значительные величины сопротивления потоку. Разработаны два варианта исполнения НУ – с одним и двумя насосами (с резервированием).

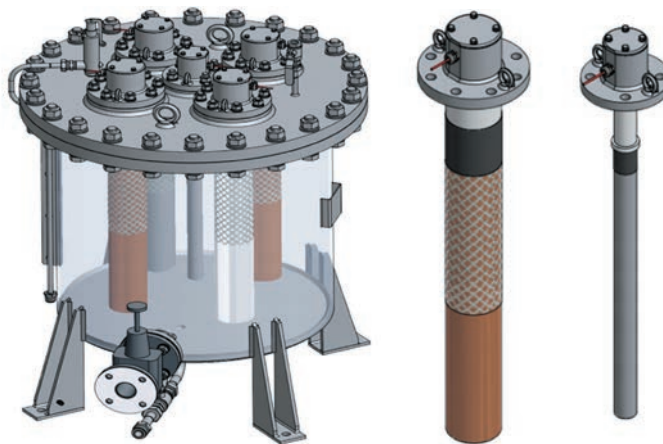


Рис. 2. Узел электролиза

В состав УЭ (рис. 2) входит следующее оборудование:

- электролизный бак с предохранительным, вентиляционным и дренажным клапанами;
- клапан редукционный;
- комплект анодов и катод фланцевого исполнения.

Применение анодов фланцевого исполнения позволяет облегчить процесс замены анодов во внутренних помещениях судна. Разработаны два варианта исполнения УЭ – с двумя и с четырьмя анодами.

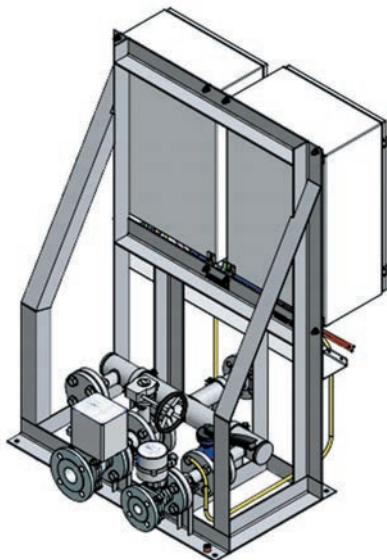


Рис. 3. Узел распределения

В состав УР (рис. 3) входит следующее оборудование:

- рама узла с распределительным коллектором;
- щит управления и щит питания анодов;
- клапаны шаровые с электроприводом;
- регулировочная арматура.

Разработаны пять вариантов исполнения УР – по количеству защищаемых КЯ.

При применении на судне нескольких УЗО их объединяют в систему, которой управляет пульт ПУС (рис. 4). ПУС получает от судовой информационной системы сигналы о запуске и остановке насосов и формирует сигнал управления для соответствующего УЗО.

ПУС (рис. 5) выполняет следующие функции:

- прием от судовых систем сигналов о работе насосов системы водяного пожаротушения и систем охлаждения по протоколу modbus RTU;
- выдача в автоматическом режиме сигналов на пуск НУ и УР в задан-

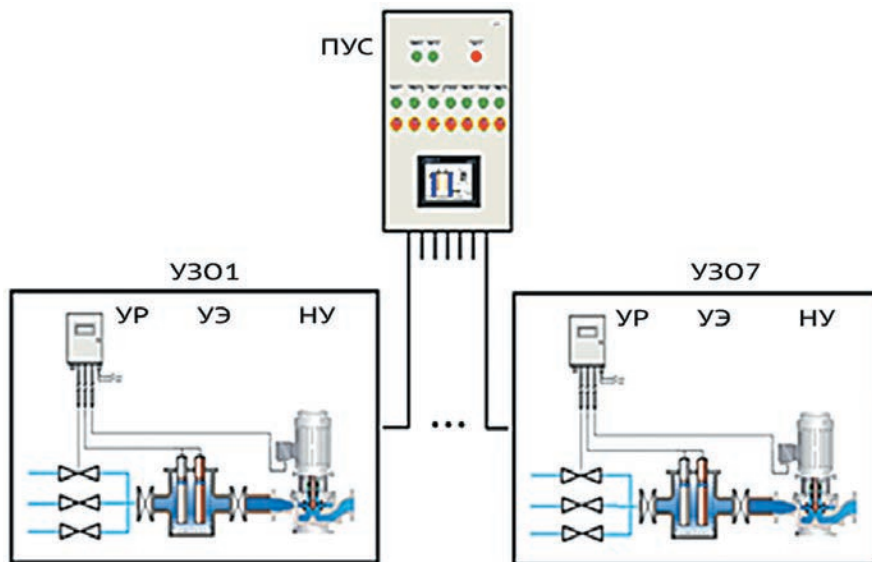


Рис. 4. Схема УЗО и ПУС

- ном режиме работы, изменение режима работы или остановку;
- выдача в автоматическом режиме сигналов на остановку НУ и УР по сигналу аварии;
- расчет расхода материала анодов в процентах;
- отображение режима работы, положения (состояния) исполнительных устройств, наличия неисправностей, расхода материала анодов в процентах по каждой УЗО;
- хранение в энергонезависимой памяти информации о режиме работы УЗО и аварийных сигналах.

Разработанная АО «МНС» система обладает рядом неоспоримых преимуществ.

1. Одна УЗО позволяет защищать до шести КЯ (участков ССЗВ).

2. Возможность регулировки и расхода обогащенной воды и концентрации биоцида позволяет достигать требуемого уровня защиты, не превышая при этом предельно допустимые концентрации ионов металлов в морской воде, установленные природоохранным законодательством.

3. Гидравлические параметры НУ системы позволяют располагать УЗ и УР отдельно, на разных палубах и на значительном расстоянии от приемных КЯ.

4. Система построена на базе трех типовых узлов. Рама узлов и их элементная база максимально унифицированы. Типовые узлы системы могут поставляться отдельно по своим техническим условиям.

5. Все типовые узлы системы отечественного производства. Аноды и

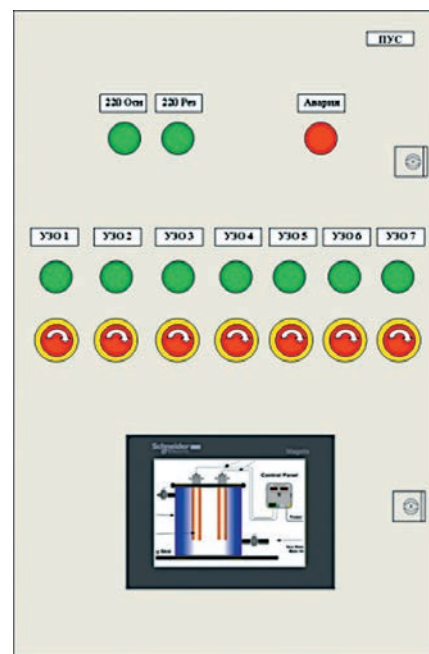


Рис. 5. Внешний вид ПУС

катоды изготавливаются из отечественных марок металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anti-fouling System/Cathelco Ltd. // Installation & Operational Manual.– 2015.– Rev. 0.– Issue 13.4.– 50 p.
2. Polipodio Enrico s.r.l, «Afoulmatic» system//Installation, operation and maintenance instruction manual.– 2019.– Rev. 0.– 30 p.
3. Corrosion & Water-Control by, ICAF system. //User Manual Client.– 2015.– Rev. 2.0.– 27 p. ■

Аддитивные технологии активно внедряются в производственные процессы промышленных предприятий по всему миру, что позволяет реализовать их огромный уникальный потенциал и открыть новые горизонты развития. В частности, метод 3D печати произвел на мировом производственном рынке революцию. Он позволяет применять конструкторам новаторские решения. Отличительной особенностью данного метода является возможность производства изделия за более короткое время, с существенно низкими затратами и с меньшим количеством вторичных обработок.

Компания «Пумори-северо-запад» одной из первых в России стала развивать компетенции в данной сфере, благодаря разработкам технического партнера компании CMS. Еще в 2018 г. компания CMS, лидер в области станков с ЧПУ для обработки композитных материалов, в сотрудничестве с институтом Фраунгофер (Германия) начала разработку оригинального решения LFAM (Large Format Additive Manufacturing) впоследствии данное решение получило название **CMS KREATOR**.

Благодаря этим разработкам, на свет был выпущен продукт, использующий механическую базу CMS, удачно интегрированный в обрабатывающий центр для вертикального фрезерования. Машина идеально подходит для обработки композитных материалов, алюминия, легких сплавов и металлов.

Современные технологические исследования и разработки инженеров CMS с использованием сложных технологических решений в тандеме с существенными финансовыми инвестициями позволили достичь несменяемости жесткости и точности станка с течением времени, а также обеспечить уникальную возможность проведения на станке широкоформатной печати.

В частности, в судостроении применение данного оборудования позволяет производить чрезвычайно сложные изделия, оптимизировать технологический процесс, существенно сократить расходы за счет уменьшения времени производства, что непосредственно влияет на повышение общих показателей.

Сферы применения оборудования такого типа:

- изготовление мастер-моделей и матриц;
- отрезка кромок палубных компонентов (палубного настила);
- фрезерование мачт из алюминия или углепластика;
- производство корабельной фурнитуры.

3D печать на портально-фрезерном станке приобретает универсальность применения, что позволяет изготавливать изделие сразу с оснасткой и на этом же оборудовании выполнять последующую финальную обработку.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СУДОСТРОЕНИИ

*М.А. Ермолаев, начальник отдела композитного оборудования
ООО «Пумори-северо-запад»,
контакт. тел. (812) 670 7026*



Пятиосевой высокоскоростной фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ и с функцией 3D печати CMS ARES KREATOR



Процесс 3D печати изделия с заранее спроектированными полостями для работы под вакуумом



Процесс 3D печати модельной оснастки

Используемые материалы для 3D печати: термопластичные полимеры в виде гранул (данные материалы западнееманы и разработаны на территории РФ, что немаловажно для применения при изготовлении продукции двойного назначения). Полимеры армированы путем применения углеродных или стекловолоконных соединений, армирование находится внутри гранул.

ООО «Пумори-северо-запад» совместно с CMS готово тестировать другие материалы по запросу клиента на оборудовании CMS KREATOR LAB.

Процесс 3D печати:

- экструзия осуществляется с помощью одношнекового экструдера, который плавит гранулы;
- экструдер приводится в движение осями станка;
- расплавленный полимер, выходящий из экструдера, наносится слоями, которые пластифицируются и образуют единое целое.

Экструдер прошел испытания в рамках НИОКР с материалами: PA, PP, PESU, PEI, PET, ABS и другими, армированными углеродными или стеклянными волокнами.

Преимущества применения 3D печати:

- возможность печати изделий больших габаритов в трех и пяти осях;

- универсальность применения;
- широкий спектр возможностей оборудования;
- высокие точности;
- возможность печати одновременно нескольких изделий на одном рабочем столе;
- высокая скорость 3D печати, и экономия сырья;
- автоматический переход от режима фрезерования к режиму печати;
- возможность печати полых приспособлений для достижения встроенной вакуумной системы.

Постоянно совершенствуясь в познании новейших технологий и разработок, обладая опытом внедрения решений, направленных на получение промышленными предприятиями максимальной отдачи от капиталовложений, компания «Пумори-северо-запад» решает задачи с учетом профиля производства и масштабов его деятельности.

ООО «Пумори-северо-запад» – одна из крупнейших компаний в России в сфере поставок оборудования и инструмента, имеет уникальный опыт решения сложных вопросов в сфере инжиниринга, автоматизации производства, сервиса и обеспечения поставок оборудования для металлообработки и обработки композиционных материалов широкого спектра применения. ■

25 июля машиностроительное предприятие «Винета», расположенное в городе Никольское Ленинградской области, Тосненского района, отметило 25-летие своей деятельности. За сравнительно короткий период активного развития «Винета» стала современным производством полного цикла: от разработки конструкторской документации до выпуска готовой продукции.



Сегодня «Винета» – одно из самых благополучных предприятий Тосненского района: оно обеспечивает своевременно налоговые отчисления, достойный уровень заработной платы и социальные гарантии. Люди, работающие на предприятии, уверены в завтрашнем дне. Можно сказать, что «Винета» – пример сплоченного коллектива, который демонстрирует высокие производственные и экономические показатели.

«ВИНЕТА»: 25 ЛЕТ ВЕРНЫМ КУРСОМ

*А.А. Кейбал, менеджер по маркетингу ООО «Винета»,
контакт. тел. (812) 493 5048*



Подогреватель пресной воды электрический ПЭ 1000/200-Г. Окончательная инспекция (проверка электрической части, пломбировка) перед упаковкой и отгрузкой заказчику

Процесс технического перевооружения и модернизации предприятия был начат в 2015 г. с целью снижения затрат за счет оптимизации технологических процессов, поддержания стабильного качества выпускаемых, а также освоения новых изделий в кратчайшие сроки. В 2017 г. введена в эксплуатацию вторая площадка, где оборудована лаборатория неразрушающего контроля, оснащена участок автоматической и лазерной сварки, размещено производство маломерных судов из композитных материалов, а также ведутся работы по маринизации отечественных дизельных двигателей.

В настоящий момент ведется оснащение нового цеха современными

станками, предназначенными для точной обработки крупногабаритных деталей.

Этот процесс – длительный. По его завершении планируется заменить абсолютно все физически изношенное оборудование.

Сотрудничество с проектантами и научно-исследовательскими институтами, а также накопленный опыт позволяют ООО «Винета» разрабатывать новые, не имеющие аналогов установки, которые по своим характеристикам, качеству и сложности исполнения не уступают зарубежным образцам.

Предприятие всегда оперативно реагирует на возникающие запросы отрасли и эффективно подстраи-



И.С. Суховинский, директор ООО «Винета», произвел полуденный выстрел из пушки со стены Нарышкина бастиона Петропавловской крепости в честь 25-летия предприятия

ется под быстро меняющуюся конъюнктуру рынка. Линейка проектируемых и выпускаемых им изделий насчитывает более тысячи наименований. Они применяются в военном

кораблестроении и гражданском судостроении, атомной и транспортной промышленности, а также на предприятиях топливно-энергетического комплекса.

Среди новых направлений деятельности предприятия – проектирование и производство маломерных судов из композитных материалов, а также маринизация дизельных двигателей. В июне текущего года проведены успешные испытания стационарного дизельного двигателя В522, разработанного ООО «Винета» на базе серийного ЗМ351432, в составе маломерного глиссирующего катера «Винета-550».

В 2015 г., опираясь на государственную целевую программу «Импортозамещение изделий судового машиностроения и ЭКБ» Минпромторга РФ, машиностроительное предприятие «Винета» в инициативном порядке за счет собственных средств приступило к разработке конвенционных установок водоочистки и водоподготовки. Это оборудование уже нашло применение при строительстве кораблей и судов ВМФ РФ, так как обладает высоким уровнем эффективности и полностью соответствует высоким техническим требованиям, которые предъявляет главное командование ВМФ к подобным системам.



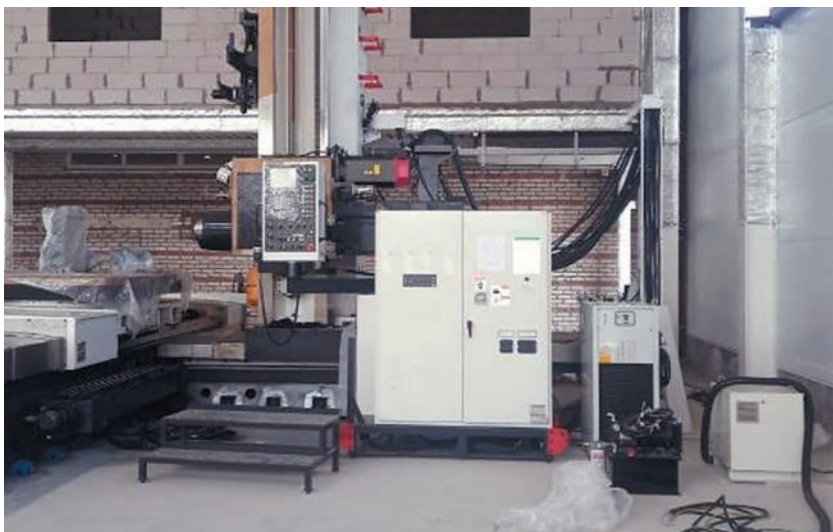
Испытания стационарного маринизированного дизельного двигателя В522, разработанного ООО «Винета» на базе серийного ЗМ351432, в составе маломерного глиссирующего катера «Винета-550»



Лауреаты 18-го ежегодного Всероссийского конкурса «Винета». Слева направо: начальник отдела гражданского судостроения ООО «Винета» П. Ю. Петров, канд. техн. наук, вице-президент РосСНИО, государственный советник РФ 1-го класса С. П. Друкаренко, ведущий инженер по внедрению АСУ КТП ООО «Винета» Ю. С. Зайцева



Новейший фильтр заборной воды ФЗВ ДУ600 из медно-никелевого сплава для грузопассажирских автомобильно-железнодорожных паромов пр. CNF11CPD, которые строятся на ПАО «Амурский судостроительный завод»



Новый цех. Монтаж пятикоординатного обрабатывающего центра

С 2019 г. «Винета» активно наращивает свое присутствие на гражданском рынке. Эта задача была поставлена перед предприятиями ОПК Президентом РФ Владимиром Путиным. В настоящее время доля «гражданки» – 10%. Соотношение, однако, постепенно меняется за счет роста продукции гражданского назначения для различных отраслей.

В основе любого проектного решения предприятия лежит индивидуальный подход к требованиям заказчика, четкое соблюдение российских и международных стандартов, а также высокая энергоэффективность оборудования и минимизация эксплуатационных затрат. В работе компания



Шеф-монтаж телескопических ворот вертолетного ангара на заказе 112 пр. 22100 «Океан» АО «Зеленодольский завод имени А. М. Горького»

ориентируется на опыт и технологический уровень ведущих мировых производителей отрасли, максимально используя при этом собственные производственные возможности.



Установка очистки нефте-содержащих вод на выставке «Армия-2018»

Численность сотрудников «Винеты» сегодня достигла 430 человек.

Преимственность поколений – наша гордость. Многие сотрудники остаются с нами на долгие годы, а это – показатель надежности и стабильности предприятия.

Мы вкладываем средства в его развитие и мотивируем наших сотрудников в личном росте, повышении своих навыков и квалификации, что, в конечном итоге, сказывается на успешной работе и достижении высоких результатов, причем не только в труде, но и в спорте. Они участвуют в отраслевых турнирах и соревнованиях по различным дисциплинам, раскрывают свои умения и таланты, получают заслуженные награды. Спортивные достижения еще больше объединяют нас.

Кадровая служба предприятия стремится помочь молодому поко-



Конкурс «Молодой кораблестроитель – инженер года 2018». Слева направо: вице-президент РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова Б. А. Барбанель, ведущий технолог ООО «Винета» Э. Ш. Фаталиев, президент РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова» В. С. Никитин



Установку по очистке сточных бытовых вод на выставке «МВМС –2018» осматривает делегация во главе с заместителем главкомандующего ВМФ РФ по вооружению вице-адмиралом В.И. Бурсуком



Команда «Винета» – чемпион турнира по настольному теннису среди предприятий различных отраслей, 2019 г.

лению в выборе будущей профессии. Мы хотим, чтобы молодежь пришла работать к нам. Для этого проводятся регулярные встречи со старшими школьниками и учащимися, устраиваются обзорные экскурсии по предприятию. Мы рассказываем о плюсах ра-

боты. Задумываясь о завтрашнем дне, мы готовим себе надежный резерв.

25 лет – это только начало. Наша деятельность сегодня – это задел на будущее успешное развитие, который позволяет с уверенностью смотреть вперед. ■

Первой вехой в истории прикладной теории автоматического управления в разработках АО «Концерн «Гранит-Электрон», в определении ее технической направленности на вооружение военно-морского флота послужили изобретения В.И. Бекаури. Учитывая важность и необходимость реализации этих изобретений в части программного и дистанционного управления торпедами и противокорабельными минами, Совет Труда и Обороны по мандату, выданному В.И. Лениным в августе 1921 г., постановил преобразовать ГОНТИ НТО ВСНХ в Особое Техническое Бюро по военным изобретениям специального назначения. Так определена основная сфера всей последующей деятельности предприятия – создание автоматизированных и автоматических систем управления оружием для Военно-Морского Флота России.



Владимир Иванович Бекаури (1886–1938 гг.)

Непосредственное участие в разработках ОсТехБюро принимал Аксель Иванович Берг.* При его непосредственном участии в бюро для управления группой кораблей разработана аппаратура внутриэскадренной радиосвязи



Аксель Иванович Берг (1893–1979 гг.)

* Будучи в командировке по служебным делам, автор статьи в 1977 г. по поручению председателя секции по теории чувствительности систем автоматического управления научного комитета технической кибернетики АН СССР Р.М. Юсупова представлял статьи авторов из Ленинграда для тематических выпусков по теории чувствительности и лично встретился с председателем научного совета «Кибернетика» АН СССР А.И. Бергом, который интересовался научной жизнью нашего предприятия и одобрил важность исследования чувствительности нелинейных автоматических систем. В сборнике «Вопросы кибернетики» – Тематические выпуски «Теория чувствительности и ее применение» – публиковали научные статьи сотрудники нашего предприятия С.Е. Душин, В.Я. Зельченко, Е.М. Зонис, И.Ю. Кривцов, В.А. Лапин, А.С. Подвалных, В.Л. Пчелко, А.Н. Сияжков, И.В. Филатов, Е.И. Хлыпало, С.Н. Шаров и др. [13–23].

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В РАЗРАБОТКАХ АО «ГРАНИТ-ЭЛЕКТРОН»

С.Н. Шаров, д-р техн. наук., проф., чл.-корр. РАН, гл. науч. сотрудник АО «Концерн «Гранит-Электрон», контакт. тел. (812) 578 9823

на ультракратких волнах, специальная аппаратура морского образца, которая была принята на вооружение Государственной комиссией под его председательством. С точки зрения современной теории управления – это простейшие устройства с релейным (командным) управлением с визуальным наблюдением (без автоматической обратной связи). Однако в то время это было признано большим успехом в развитии советской науки и техники [1–3]. За достигнутые успехи в развитии отечественной автоматики и телемеханики в 1933 г. А.И. Берг был награжден правительством орденом Ленина.

Начиная с 1947 г. в институте уделялось особое внимание теории управления и регулирования. С этой целью в качестве членов ученого совета, руководителей аспирантов и научных консультантов были приглашены крупные ученые в этой области науки: доктор технических наук член-корреспондент АН СССР Е.П. Попов [4], профессора Д.В. Васильева и А.И. Лурье.

Морская автоматика и телемеханика многие годы в институте являлись приоритетным тематическим направлением. Работы в области морской автоматики велись по следующим направлениям: стабилизация и управление движением подводных лодок на глубине на ходу и без хода; системы управления успокоителями качки кораблей; автоматическое управление курсом кораблей; автоматические регуляторы тока в курсовых обмотках размагничивающих систем.

Системы стабилизации и управления движением подводных лодок до 1945 г. разрабатывались раздельно: по курсу, глубине на ходу и глубине без хода. Работы велись без достаточного глубокого научного теоретического обоснования [4]. Подводная лодка не рассматривалась как единый объект авто-

матического управления, а ее система управления как замкнутая следящая система, описываемая соответствующим математическим уравнением. Такое положение имело место и при рассмотрении других проблем в области морской автоматики.

Первыми кандидатами технических наук в области систем стабилизации и управления движением подводных лодок стали В.Ф. Печурин, А.А. Данилин, В.К. Чесноков и В.А. Иванова.

В научной работе В.Ф. Печурина дано теоретическое обоснование ряда схем стабилизации подводных лодок по глубине без хода. Проведен анализ и решение математических уравнений, описывающих эти системы. В.Ф. Печурин – лауреат Сталинских премий (1942 и 1951 гг.) и лауреат Ленинской премии (1959 г.).

А.А. Данилин теоретически рассмотрел структурные схемы системы управления движением подводной лодки «Спрут» [1]. Составил уточненное математическое описание этой системы и определил степень устойчивости решения уравнений управляемого движения.

В.К. Чесноков, руководитель теоретической группы обеспечения устойчивости, применив метод Вышнеградского–Неймарка, исследовал в линеаризованной системе третьего порядка пределы изменения параметров всех регуляторов и объекта управления для обеспечения устойчивости системы «подводная лодка – стабилизатор».

В.А. Иванова провела исследование устойчивости системы стабилизации и управления подводной лодкой по глубине на ходу методом А.М. Ляпунова [1].

В научных работах института подводную лодку рассматривали, по аналогии с автопилотированием, как управляемый объект, а ее систему стабилизации и управления – как замкнутую систему автоматического управления, описы-

ваемую нелинейным математическим уравнением высокого порядка. В состав такой следящей системы входят подводная лодка и технические средства, на выходе которых находятся силовые исполнительные органы.

На базе этих теоретических исследований были разработаны новые технические требования, в соответствии с которыми создавались системы стабилизации и управления движением подводных лодок первого и второго поколений.

Наряду с проектными и экспериментальными работами по созданию систем управления успокоителями качки кораблей в институте проводились теоретические исследования, направленные на улучшение эффективности успокоителей качки.

Основную роль в деле повышения научно-теоретического уровня систем управления успокоителями качки сыграла работа С.Г. Ильиной [1], выполненная под научным руководством доктора технических наук, профессора А.И.Лурье, в которой тщательно исследован сам процесс успокоения качки кораблей. Составлено подробное математическое описание с учетом влияния нелинейных характеристик звеньев в системе.

Разработку теории и практического метода проектирования системы стабилизации курса корабля под научным руководством члена-корреспондента АН СССР Е.П. Попова провела М.А.Городецкая. Наибольший интерес и практическую значимость в ее работе представляли оценки влияния нелинейности в системе рулевого привода на устойчивость системы стабилизации курса корабля.



Евгений Павлович Попов (1914–1999 гг.)

В 50-е гг. предприятию было поручено создание систем размагничивания кораблей, что потребовало разработки соответствующей теории и методов проектирования, оценки качества и испытаний.

* По поручению генерального директора В.В. Павлова и просьбе Е.И. Хлыпало при подготовке к юбилейной научно-технической конференции НПО «Гранит» автор статьи брал интервью у Е.П. Попова после научного семинара в МВТУ им Н.Э. Баумана в 1976 г. Воспоминания Е.П. Попова в редакции автора изложены в статье [1, С. 71–75].

Под руководством члена-корреспондента АН СССР (позже действительного члена РАН РФ) Е.П. Попова аспирантка И.А. Бородина провела математический анализ систем автоматического регулирования тока в размагничиваемых системах и показала, что они представляют класс нелинейных следящих систем и с достаточной точностью могут быть исследованы методами теории автоматического управления и регулирования в линейном приближении, с последующим уточнением численным интегрированием и учетом нелинейных особенностей звеньев с насыщением.

Теоретической базой многих научных работ в институте был предложенный Е.П. Поповым подход к созданию прикладной теории анализа и синтеза систем управления на базе методов эквивалентной линеаризации и целенаправленного использования нелинейностей.

Начало 50-х гг. в нашей стране характеризуется бурным ростом потребности страны в автоматических системах, особенно в оборонных отраслях промышленности. Стало ясно, что сложными машинами и механизмами не может управлять человек без помощи автоматики, и не только из экономических соображений. Создание автоматических систем зачастую было единственным средством достижения необходимых технических показателей создаваемых машин и механизмов.

К этому времени стало очевидно, что в ряде случаев нелинейности, содержащиеся в реальных звеньях автоматических систем, делают эти системы совершенно непригодными для применения [5]. При использовании линейных методов расчета спроектированная, казалось бы, высококачественная система из-за реальных неучтенных нелинейностей иногда даже теряет устойчивость.

Замкнутые нелинейные системы управления при наличии элементов, обладающих инерцией и запаздыванием, особенно склонны к незатухающим или медленно затухающим колебаниям. Изучение динамических свойств нелинейных автоматических систем не может быть, в принципе, проведено при помощи линейных методов. Поэтому особое значение приобретает развитие методов исследования и проектирования нелинейных автоматических систем.

Производственная необходимость заставляла проектировщиков внимательно исследовать влияние нелинейных характеристик практически всех звеньев на поведение автоматических систем. Этот вопрос вынуждены были

затрагивать исследователи практически всех систем.

В создании гироскопических следящих систем Е.П. Попов отмечает [1, С. 71–75] В.П. Морозова, автора многих оригинальных технических решений, умевшего скрупулезно учитывать нелинейные особенности гироскопических систем, подбирать к ним компенсирующие цепочки, сводить дрейф нуля к минимально возможной величине. В его работах нашли отражение и практическое применение расчеты нелинейных систем с медленно меняющейся постоянной составляющей.

Из своих учеников 50-х гг. Е.П. Попов особенно выделял Е.И. Хлыпало, защитившего кандидатскую диссертацию по теоретическим вопросам оценки качества переходных процессов нелинейных систем в 1958 г. Его стремление и умение создавать высококачественные автоматические системы при помощи простых устройств привели его в 60-е гг. к разработке нового класса систем с нелинейными динамическими корректирующими устройствами.

Физическая сущность предложенных им сигналов заключается в следующем: в отличие от «обычных» нелинейные переключающие корректирующие сигналы меняют параметры самих звеньев автоматической системы. При этом изменяются только динамические параметры звеньев, а их статические характеристики остаются неизменными. Изменение динамических параметров проводится путем замены во времени реального управляющего сигнала на специально сформированный [6].

Точный расчет устройств с нелинейными корректирующими устройствами очень сложен и редко применяется в инженерной практике. Трудности еще более возрастают, если приходится учитывать нелинейности, присущие реальным устройствам, например, сухое трение, зазоры в кинематических передачах и т.д. Здесь для синтеза нелинейных корректирующих устройств широкое применение нашли приближенные методы исследования, в частности, метод гармонической линеаризации.

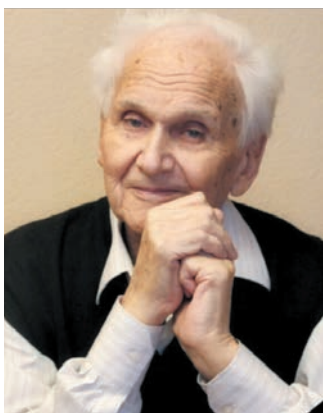
Скромный молодой человек Н.М. Мозжухин, как вспоминал Е.П. Попов* [1, С. 71–75], взялся за сложную по тому времени научную задачу моделирования на аналоговых вычислительных машинах систем со случайными параметрическими возмущениями. Решение этой задачи было необходимо для определения допусков на проектируемые системы, содержащие по несколько десятков звеньев различной физической природы. Успешное завершение этих ис-

следований позволило Н.М. Мозжухину защитить кандидатскую диссертацию. В дальнейшем он возглавил разработку сложнейшей современной автоматической системы, за которую был удостоен в 1984 г. Ленинской премии.

В начале 60-х гг. стало очевидно, что создавать сложные системы управления, базируясь только на аналитических расчетах и математическом моделировании, невозможно и требуется большой объем дорогостоящих экспериментальных исследований.

Выход был найден, и институт одним из первых в стране развернул моделирование автоматических систем с реальной аппаратурой. Эту работу возглавил В.Л. Черников, под руководством которого разработаны необходимые методики и оборудование для корректного моделирования сложных нелинейных систем управления по тематике института. Практическое внедрение его технических предложений принесло значительный эффект и позволило сократить сроки разработки по ряду важнейших заказов института. В.Л. Черников возглавлял в институте цифроаналоговый комплекс стеновой отработки современных автоматических систем.

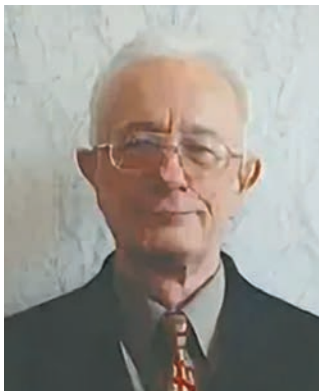
Научное руководство теоретическими исследованиями и отработкой алгоритмов управления противокорабельных крылатых ракет (ПКР) на предприятии возглавлял А.Т. Барабанов, уроженец г. Севастополь. Он окончил Ленинградский военно-механический институт (ныне – БГТУ «Военмех») и одновременно математико-механический факультет Ленинградского государственного университета (ЛГУ). Кандидат (1955 г.), доктор технических работ (1963 г.). С 1955 по 1980 г. работал в ЦНИИ «Гранит». Основоположник аналитической теории самонаведения летательных аппаратов. Как научный руководитель заложил основы построения цифровых систем автопилотирования и самонаведения ПКР П-6, П-500, «Гранит» и «Вулкан». Основным на-



Александр Трифонович Барабанов (1928–2018 гг.)

правлением его научной деятельности являлись разработка и развитие методов анализа динамики процессов управления полетом беспилотных летательных аппаратов. С 1980 г. до последнего времени – заведующий кафедрой технической кибернетики в Севастопольском государственном техническом университете. Воспитал значительное число специалистов высшей научной квалификации.

Достоинным продолжателем научной деятельности А.Т. Барабанова на предприятии стал В.Р. Андриевский, выпускник кафедры ракетостроения «Военмеха», одновременно дополнительно закончивший с отличием математический факультет ЛГУ. Свою кандидатскую диссертацию о новых нелинейных законах управления он защитил, проводя синтез систем управления строгими математическими методами с учетом сопутствующих нелинейных особенностей объекта управления и добиваясь наилучшего качества достижимых технических параметров (точности и запасов устойчивости).



Валентин Ростиславович Андриевский (1935–2004 гг.)

Другим самостоятельным направлением развития теории и практики автоматического регулирования в конце 50-х гг. стало создание оптимальных систем. Передовые идеи ученых с мировым именем, например, члена-корреспондента АН СССР А.М. Лётова и профессора В.И. Зубова, который также прошел практическую инженерную школу нашего предприятия [1,2], находили практическое применение и благодатную почву для развития в их проектных и исследовательских работах. Эти идеи подхватили тогда еще молодые специалисты Л.Е. Канарев, А.В. Молоденский и Я.А. Бедров. Попытка применить заманчивые идеи к практическим задачам заставила их проявить недюжинные математические способности. Они смогли внести весомый вклад в развитие методов синтеза оптимальных систем и их использование в практических разработках.

Многообразие технических задач, решаемых предприятием, привело к тому, что инженеры и научные работ-

ники вынуждены были развивать практически все направления теории и практики автоматического регулирования. Так, например, теоретические трудности расчета нелинейных стохастических систем привели В.И. Смирнова [1] к необходимости разработки оригинальной методики проектирования. Он широко использовал возможности цифровых вычислительных машин шестидесятых годов.

Сама производственная деятельность в ЦНИИ «Гранит» заставляла инженеров искать новые технические решения и внедрять в свои практические задачи новейшие теоретические изыскания. Благодаря этому продукция, выпускаемая институтом, не только не уступает зарубежным аналогам, но и в ряде случаев превосходит ее по качественным показателям автоматических систем.

Школа Е.И. Хлыпало [1, с. 76–79]. В 1952 г. после окончания Ленинградского политехнического института Евгений Иванович Хлыпало пришел в ЦНИИ «Гранит» и сразу активно включился в работу. Тяжелые жилищные условия (он с женой и маленькой дочкой ютились в одной маленькой комнате коммунальной квартиры) не только не оттаивали его занятий наукой, но, по его собственному утверждению, «стимулировали» научную деятельность. В более поздние годы он часто вспоминал об этом в укор молодым, которые, ссылаясь на семейные и бытовые трудности, объясняли свое пассивное отношение к научной работе.



Евгений Иванович Хлыпало (1929–1980 гг.)

Через два года после окончания института Е.И. Хлыпало поступает в очную аспирантуру ЦНИИ «Гранит», где под руководством члена-корреспондента АН СССР Е.П. Попова защищает кандидатскую диссертацию в 1958 г.

Во время учебы в аспирантуре Евгений Иванович никогда не пользовался учебным отпуском и практически все рабочие дни проводил непосредственно на рабочем месте. После защиты кандидатской диссертации Е.И. Хлыпало не ослабил свою научную работу и в 1964 г. защи-

тил докторскую диссертацию в области проектирования нелинейных динамических корректирующих устройств для систем автоматического управления. За разработку инженерных методов расчета и создание автоматических систем и устройств он удостоен ученого звания заслуженного деятеля науки и техники РСФСР.

Е.И. Хлыпало был активным пропагандистом новейших идей в области нелинейных автоматических систем и подготовил ряд учеников (шесть кандидатов и одного доктора технических наук – им был я), продолжающих его дело в новых разработках предприятия.

Е.И. Хлыпало умел зажигать новыми идеями как своих подчиненных, так и руководство подразделений института, где он работал. Очень часто на первых порах его предложения воспринимались как абсурдные. Так было с идеей создания автономных систем управления объектами без линий телеуправления, с предложениями по конструктивному объединению информационных каналов и т. д. В дальнейшем жизнь показала прочность и эффективность этих технических решений, которые были реализованы в ряде разработок ЦНИИ «Гранит».

В своей производственной и научной деятельности Е.И. Хлыпало смело опирался на молодежь. В 1964 г. он взялся за руководство первыми своими аспирантами А.С. Подвальных, И.В. Филатовым и С.Н. Шаровым в ЦНИИ «Гранит» и А.А. Чернышевым в ЦНИИ «Аврора». Перед тем как рекомендовать их в аспирантуру, он поставил перед ними условия:

- производственную нагрузку увеличить в два раза по сравнению с остальными инженерами;
- не проводить в рабочее время никакой научной работы, включая написание статей, заявок на изобретение, проведение аналитических или численных расчетов (все это аспи-

ранты должны были делать в нерабочее время; исключением было совместное обсуждение полученных результатов, а также свободное время в предпраздничные дни, когда отключалось электропитание приборов);

- не помышлять о повышении заработной платы до защиты диссертации.

Далеко не все были согласны работать в таких условиях. Некоторые увольнялись и поступали в аспирантуру учебных вузов. Оставались только люди, одержимо преданные делу, которым увлек их Е.И. Хлыпало.

Следует заметить, что работа в основе своей была очень интересная, поскольку в его лаборатории проводились значительные научные исследования, требующие как теоретических, так и экспериментальных изысканий. При этом приходилось проделывать огромный объем сопутствующей текущей работы, которую обычно называют «такелажной», «бюрократической», «организационно-административной» и т. д. Инженеры выступали в роли толкача, снабженца, диспетчера и т.п. Таким образом аспиранты невольно проходили хорошую школу организаторской работы в коллективе, общения с другими подразделениями и производством, сотрудничества с представителями контрагентских организаций и заказчиком.

Е.И. Хлыпало был убежден, что научный сотрудник должен пройти и выдержать этот путь – только тогда он может быть допущен к представлению своих научных результатов, оформленных как диссертация. Видимо, по этой причине упомянутые выше аспиранты, а также другие его сотрудники – воспитанники 60-х гг. – стали главными конструкторами и руководителями подразделений (А.С. Подвальных в ЦНИИ «Гранит», И.В. Филатов в Ленинградском институте авиационного приборостроения, А.А. Чернышев в ЛГУ,

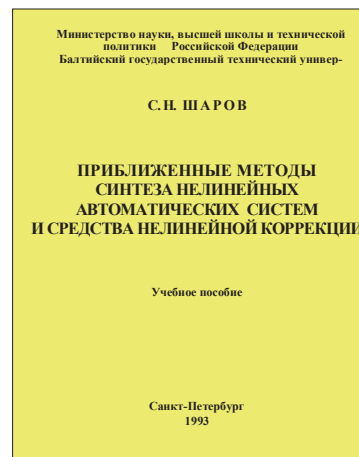
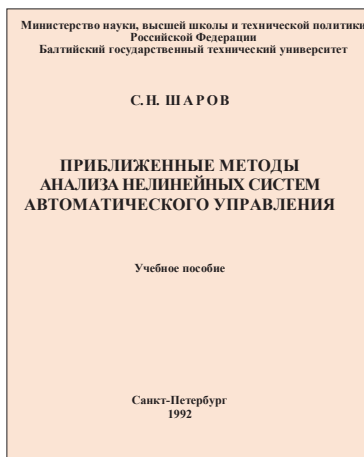
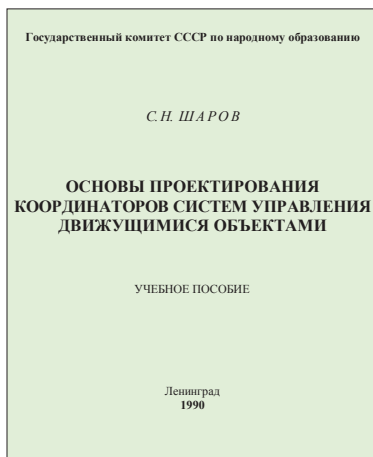
К.В. Тюфяев в Севастопольском филиале ЦНИИ им. А.Н. Крылова).

Е.И. Хлыпало совмещал производственную деятельность в ЦНИИ «Гранит» с преподавательской деятельностью в высшей школе. Ее специфика повлияла на его взгляды как воспитателя научных кадров. С этого времени он требует более строгой методической отточенности научных работ. Это почувствовали на себе его ученики 70-х гг. Ю.Н. Афанасьев, В.Я. Зельченко, В.А. Лапин и Б.С. Губанов, труды которых отличают более глубокие теоретические исследования, широкое использование современной вычислительной техники при анализе различных систем и приборов, а также при обработке экспериментальных результатов.

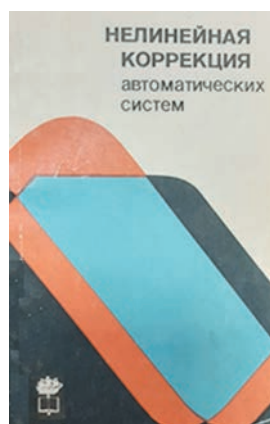
Основной теоретических исследований учеников Е.И. Хлыпало был метод гармонической линеаризации.

Все, кому по роду работы приходилось общаться с Е.И. Хлыпало, отмечали, что наряду с научной эрудицией он обладал великолепной интуицией инженера-практика. Его способность доводить любую, сколь угодно сложную теорию до состояния, когда она может быть доходчиво объяснена «на пальцах», умение выявить физическую суть рассматриваемого явления служили хорошим примером его ученикам. Иллюстрацией этого являются разработанные им способы оценки качества нелинейных систем, используемые для расчета следящих приводов антенн и гироскопов, тренажеров и манипуляторов.

Е.И. Хлыпало не создавал абстрактных теорий, а к любой проблеме подходил с позиций инженера – всегда учитывать необходимость практической реализации разрабатываемых идей. Это важное качество для прикладной науки сумел он воспитать в своих учениках. Во многом благодаря этому Ю.Н. Афанасьев, возглавляющий проектный отдел НПО «Ленэлектронмаш», показал близость систем с нелинейными кор-



Учебные пособия БГТУ «Военмех» для использования метода гармонической линеаризации при проектировании систем управления



Книги работников предприятия, опубликованные различными издательствами в 1973–1986 гг. [8]

ректирующими устройствами переключающего типа к оптимальным по быстродействию системам с релейным управлением.

Большое значение в воспитании молодых ученых Е.И. Хлыпало придавал развитию здоровой конкуренции, что достигалось обсуждением на семинарах задач, решение которых поручалось практически всем сотрудникам сектора без учета должностей и званий. Такой прием значительно ускорял развитие научного мышления молодых инженеров и создавал свободную, демократическую обстановку в коллективе.

Жаркие споры были при обсуждении влияния помех на нелинейные системы с динамическими переключающими устройствами. Одним из основных зачинщиков споров в этой области пришлось выступать Р.Д. Васькину, которому, как человеку с богатым производственным опытом, было не просто выдержать мощную «осаду» молодых и математически более подготовленных сотрудников. Такие дискуссии принесли, несомненно, обоюдную пользу и ставшему кандидатом технических наук Р.Д. Васькину и всем другим участникам обсуждений. Например, В.А. Лапин во многом отошел от двухчастотного подхода Р.Д. Васькина и в своей кандидатской диссертации получил новые интересные результаты более строго.

Учениками Е.И. Хлыпало были не только аспиранты и соискатели, научным руководителем которых он числился официально. Большое влияние он оказывал на многих соратников по работе. Его деликатный подход к сохранению индивидуального почерка и образа мысли каждого соискателя ученой степени или автора статьи, умение четко выделить и сформулировать главное, способность к жесткой, но не обидной критике, помогающей правильно понять и преодолеть слабые стороны любой научной работы, снискали ему глубокое уважение учеников, коллег и руководства ЦНИИ «Гранит». Так, при непосредственной помощи Е.И. Хлы-

пало подготовили доклады по совокупности работ, за которые им присуждена ученая степень кандидата технических наук, генеральный директор предприятия Герой Социалистического Труда В.В. Павлов, лауреат Ленинской премии С.Т. Зайцев, заместитель главного инженера В.П. Лапин, главный конструктор контрольно-проверочной аппаратуры бортовой системы управления крылатых ракет Б.М. Гольдин.

Будучи профессором, заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, читая в разные годы курсы лекций по автоматическому управлению в Северо-Западном заочном политехническом институте, ЛГУ, Ленинградском институте авиационного приборостроения, Е.И. Хлыпало стремился к взаимному обмену знаниями и опытом с молодыми коллегами по работе. Он организовал в лаборатории занятия по основам теории оптимальных систем. Лекции читал его ученик, инженер В.Я. Зельченко. По вычислительной технике и программированию занятия проводили кандидаты технических наук В.Р. Андриевский и инженер В.А. Герасимов. На этих занятиях он всегда был активным слушателем, своим личным примером показывая значимость происходящего.

Справедливости ради следует признать, что не всегда усилия Евгения Ивановича, направленные на активизацию научной работы ведущих сотрудников ЦНИИ «Гранит», заканчивались успешно. Так и не удалось ему «раскачать» ряд сотрудников, заставить поверить в свои силы и закончить научные изыскания, оформить диссертационные работы. Однако и они с благодарностью вспоминают общение с Е.И. Хлыпало как время своей наибольшей творческой активности.

После тяжелой болезни Е.И. Хлыпало скончался в 1980 г. в возрасте 50 лет, полный творческих замыслов и надежд на расцвет научных поисков, на появление новых оригинальных технических решений. Его ученики, друзья и соратники прикладывают все усилия,

чтобы воплотить идеи и начатые им дела в жизнь.

Живой коллектив учеников-единомышленников, воспитанный Евгением Ивановичем, пожалуй, одна из больших ценностей, которые он оставил в наследство ЦНИИ «Гранит». Сейчас на предприятии много молодых сотрудников, которые не знали Е.И. Хлыпало, но высокий дух бескомпромиссного служения науке, глубокая вера в конечное торжество избранного направления его развития в интересах Родины продолжают жить и давать новые плоды творчества.

Школа Р. М. Юсупова. В 70-е гг. прошлого века, во многом благодаря появлению монографии Рафаила Митхатовича Юсупова и Е.Н. Розенвассера [12], разработчики бортовых и корабельных систем автоматического и автоматизированного управления стали уделять больше внимания исследованию чувствительности технических и тактических характеристик не только к параметрам всех составляющих элементов [8–24], но и к структуре самих систем, включая организационно-технические системы [25].



Рафаил Митхатович Юсупов, научный руководитель Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН)

Чувствительность количественно характеризует влияние малых изменений параметров объекта управления,



Книги Ю.М. Козлова 1969, 1971–1981 и 1990 гг. издания [10,11]

элементов системы или внешней среды на свойства и выходные параметры системы управления, поэтому являлась необходимым инструментом обоснования допустимых отклонения параметров элементов, составляющих автоматическую систему. Параметры автоматической системы X , характеризующие ее потребительские свойства (точность, длительность переходного процесса и др.), являются функцией параметров ее элементов x_i (инерционность, коэффициент усиления). Если известна аналитическая форма этой функции $Y(x_i)$, то чувствительность определяется как частная производная dY/dx_i . Эта формула оценки чувствительности справедлива для линейных моделей звеньев и систем.

Реальные системы являются нелинейными, поэтому для оценки чувствительности используются линеаризованные модели звеньев, например, путем замены реальной зависимости на приближенную линейную:

$$Y(x_i) = Y(x_0) + (x_i - x_0) dY/dx_i,$$

где x_0 – номинальное (расчетное) значение x_i . Здесь основой является разложение $Y(x_i)$ в ряд Тейлора.

Для статистического анализа и синтеза автоматических систем используются способы статистической линеаризации характеристик звеньев $Y(x_i) = \Phi(\sigma_x, x_i - x_0)$, принимая нормальным закон возможного изменения параметра $(x_i - x_0)$ с заданным среднеквадратическим отклонением σ_x .

В работах Е.П. Попова, Е.И. Хлыпало и их учеников для линеаризации передаточных функций звеньев автоматических систем с колебательными процессами чаще используется метод гармонической линеаризации, где передаточная функция нелинейного звена заменяется линеаризованной, коэффициенты передачи которой соответствуют первой гармонике ряда Фурье выходных колебаний нелинейного звена [3–5]:

$Y(x_i) \approx a \sin \omega t + q(a, \omega) \sin \omega t + q'(a, \omega) \cos \omega t$, где a , ω – амплитуда и частота первой гармоники.

Линеаризовать звенья с нелинейной статической характеристикой достаточно просто, например, для однозначных $q(a)$ и $q' = 0$. Сложнее линеаризовать нелинейные динамические (инерционные) звенья [4, 5]. Здесь приходится искать аналитическое выражение для описания выходных колебаний и далее искать аппроксимацию коэффициентами гармоник ряда Фурье.

Для проектирования следящих систем на нашем предприятии чаще использовались частотные методы для оценки устойчивости и качества переходных процессов, поэтому определялись логарифмические амплитудные $L(a, \omega) = 20 \lg((q(a, \omega)^2 + q'(a, \omega)^2)^{0.5})$ и фазовые $\varphi(a, \omega) = \arctg(q'(a, \omega)/q(a, \omega))$ характеристики нелинейных звеньев [7–9].

В ряде случаев аналитические расчеты коэффициентов чувствительности громоздки и трудоемки, поэтому пользуются конечными разностями или в дискретном виде $\Delta Y/\Delta x_i$. Это допустимо для анализа сложной системы, однако при синтезе системы может привести к дополнительным сложностям выбора шага Δx_i [8].

Ближайшим соратником Р.М. Юсупова на нашем предприятии был начальник отдела навигационных систем доктор технических наук, профессор Ю.М. Козлов (в 1978–1991 гг. зав. кафедрой систем управления летательных аппаратов в БГТУ «Военмех»), который не ограничивался анализом чувствительности систем к параметрам: внешней среды, объекта и аппаратуры управления. Он одним из первых в стране разработал теорию проектирования самонастраивающихся систем, за которыми позже закрепилось название «адаптивные системы».

Наряду с московской школой ученых академика РАН Б.Н. Петрова и киевским коллективом ученых во главе с академиком А.Г. Ивахненко в Ленинграде видное место в этой области занял тогда еще молодой инженер нашего предприятия Ю.М. Козлов, который разработал ряд инженерных методов

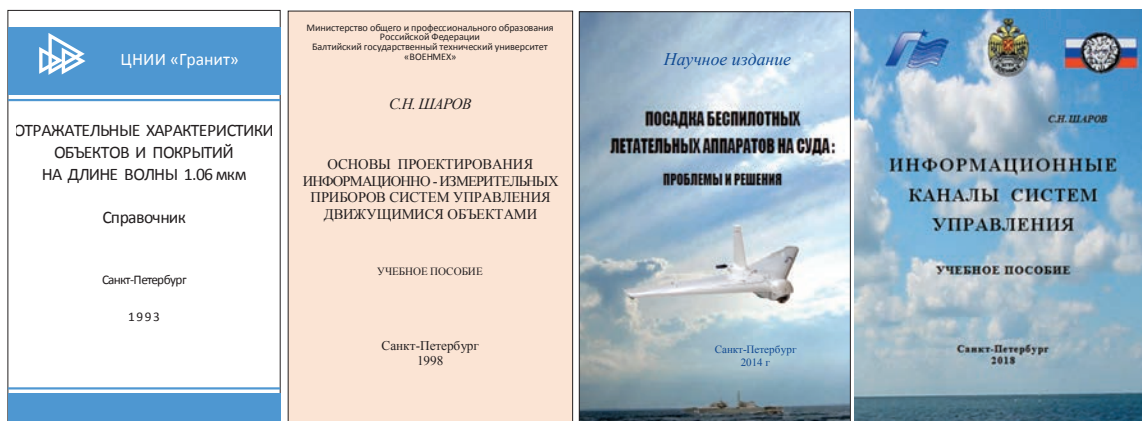
расчета самонастраивающихся систем и предложил оригинальные системы с так называемыми «пробными» возмущающими сигналами. Работы Ю.М. Козлова были достойно оценены в нашей стране. Его монографии по самонастраивающимся системам используются как учебные пособия в вузах по специальности автоматическое управление [10,11].

В 70–80-е гг. в коллективе разработчиков под руководством Е.И. Хлыпало развивалось новое направление обеспечения качества управления летательных аппаратов и следящих приводов при помощи нелинейных динамических корректирующих устройств [6–8].

Электронные и электромеханические устройства в системах управления того времени занимали существенную часть общего объема и массы аппаратуры систем управления. По этой причине сложные законы управления, позволяющие достигнуть наивысших качественных показателей (точность, быстродействие и помехозащищенность во всех режимах работы) при реальных допусках на параметры комплектующих элементов, блоков и приборов, не могли быть реализованы в то время.

Простые по технической реализации нелинейные корректирующие устройства позволяли подойти достаточно близко к физически реализуемому оптимальным процессам управления. Синтез структуры и выбор параметров таких устройств осуществлялся на основе метода гармонической линеаризации, который в ряде случаев не позволял оценить качество управления во всех требуемых режимах функционирования системы.

Однако, как показано в [13], для синтеза квазиинвариантных автоматических систем возможно применение некоторых типов нелинейных динамических корректирующих устройств. Для этого пришлось подробно исследовать чувствительность корректирующих устройств, чтобы определить влияние отклонения параметров их элементов от номинальных значений на эффек-



Дополнительная литература [25–28] работников предприятия содержит справочный материал с обобщением результатов экспериментальных исследований, лабораторных и натурных испытаний, полезный для проектирования радиолокационных и оптических приборов управления беспилотными летательными аппаратами, решающими задачи распознавания наблюдаемых объектов

тивность корректирующих устройств [14–24].

С развитием вычислительной техники большому числу инженеров стали доступными численные методы моделирования и параметрической оптимизации корректирующих устройств и систем управления в целом. Первые попытки использования градиентных методов оптимизации параметров систем с динамическими нелинейными звеньями типа «сухое трение», люфт и тем более с нелинейными динамическими корректирующими устройствами привели к неудовлетворительным результатам. Стремление улучшить точность определения значения параметров путем уменьшения шага перебора, приводило к закликиванию процесса вычисления. Причиной оказались скачки функции чувствительности при малом изменении управляющего или возмущающего воздействия [17–18]. Поняв это явление, можно вносить изменения в программу поиска оптимальных параметров, например, искусственно линеаризуя область параметров, где наблюдаются скачки градиента.

В 70-е гг. работы по теоретическим вопросам анализа и синтеза системы

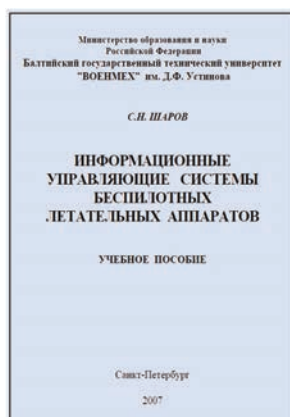
управления сверхзвуковой ракеты «Базальт» (генеральный конструктор В.Н. Челомей, главные конструкторы системы управления В.Н. Яковлев и А.В. Чижов) возглавил заслуженный конструктор РФ В.Р. Андриевский в должности начальника отделения и заместителя главного конструктора [2]. Специфика этой системы характеризуется нестационарностью (в процессе разгона существенно изменяются динамические коэффициенты уравнений движения), высокой степенью статической неустойчивости летательного аппарата (обусловленной смещением центра тяжести из-за размещения в районе хвостового оперения тяжелого стартового ускорителя), упругостью конструкции, а также высоким уровнем вибраций, порождаемых работой стартового ускорителя. Обеспечить требуемое качество управления удалось при помощи синтеза нелинейных динамических корректирующих устройств с использованием методического и математического аппарата теории чувствительности, обеспечивших необходимую грубость системы к возмущающим воздействиям [22].

Эти работы были вкладом в научные и производственные достижения, за которые 1985 г. предприятие награждено орденом Ленина.

Методический подход теории чувствительности используется при создании сложных комплексов радиоэлектронного вооружения и систем управления ракетного оружия кораблей [19]. При этом учитываются не только технические параметры, но и эксплуатационные и экономические условия, необходимые для прогноза развития предприятия и принятия стратегических производственных решений [23].

Предприятием созданы многие десятки принципиально новых автоматических и автоматизированных систем и комплексов для ВМФ нашей страны. Эти разработки, в большинстве своем, явились достижениями на уровне лучших образцов отечественной и зарубежной техники.

Научные достижения работников предприятия позволили впервые в отечественной и мировой практике создать систему управления ракет с подводным стартом (система управления ПКР «Аметист», канд. техн. наук

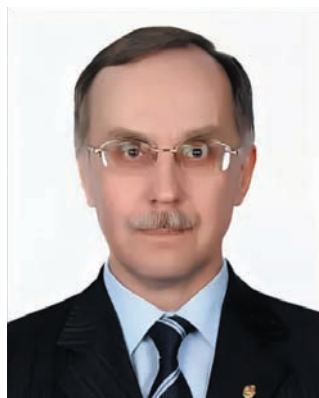


Книги иллюстрируют рост требований к автономным информационным системам управления беспилотных летательных аппаратов в части качества распознавания наблюдаемых объектов в условиях увеличения объема и разнообразия априорной и текущей информации, необходимости оперативного принятия решений и использования наилучших алгоритмов управления для достижения заданной цели использования летательного аппарата [30, 31, 37]

В.С. Богданов, В.И. Смирнов), систему управления статически неустойчивым объектом (ПКР «Гранит», заместитель главного конструктора, канд. техн. наук В.Р. Андриевский), систему управления залпом ракет, автономно, без участия оператора, решающую задачу избирательного поражения целей, в комплексах ПКР «Гранит», «Вулкан», «Оникс». Достойный вклад в создание уникальных систем управления ПКР внесли доктора технических наук Е.В. Ельяшквич, Ю.Ф. Подоплёкин, О.С. Селивохин, О.Г. Мальцев; кандидаты технических наук А.С. Подвальных, М.А. Ермолина, руководители научно-производственных отделений, отделов и секторов, научные сотрудники и ведущие инженеры.

Отработанная система проектирования и изготовления специальных вычислительных средств и сложных алгоритмов управления в реальном масштабе времени (разработчики бортовых приборов и стендового оборудования В.Г. Меркин, П.В. Чистяков, А.А. Вершинин, кандидат технических наук А.М. Конобасов и др.), больших комплексов корабельной аппаратуры системы управления ПКР (разработчики: директор научно-производственного комплекса Д.С. Смирнов и С.Н. Воронцов) обеспечили реализацию самых эффективных и надежных способов реализации программно-математического обеспечения систем управления ПКР (директор НПК – главный конструктор А.М. Чуманов) [1, 2].

С начала XXI в. преобладающим направлением развития методов улучшения качества систем автоматического управления становится использование методов искусственного интеллекта [28–36]. На нашем предприятии возглавляет научное направление применения методов искусственного интеллекта для решения задач селекции (распознавания) цели по совокупности ее признаков на фоне естественных и искусственных помех С.Г. Толмачев – начальник НИЛ обеспечения инновационных раз-



Сергей Геннадьевич Толмачев, канд. техн. наук, начальник НИЛ АО «Концерн «Гранит-Электрон»

работок АО «Концерн «Гранит-Электрон». Он проводит научно-технические семинары в рамках 5-го научного отделения РАН, секции «Приборное оснащение кораблей и судов НТО судостроителей, поставил и читает курсы лекций: «Основы искусственного интеллекта» и «Представление знаний в информационных системах» для студентов и магистрантов, ведет практические занятия со студентами и магистрантами, руководит их выпускными работами в БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, ГУАП и СПбПУ Петра Великого.

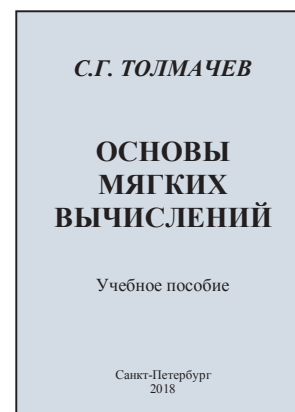
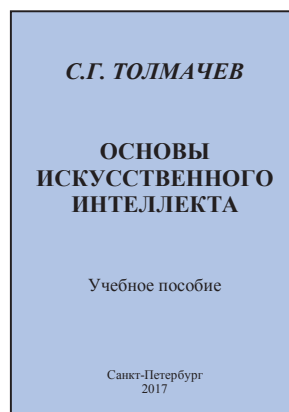
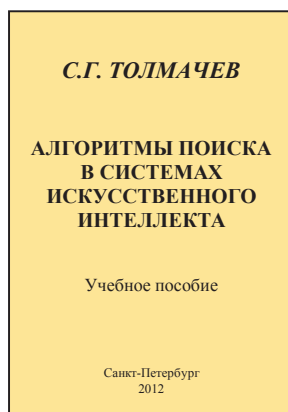
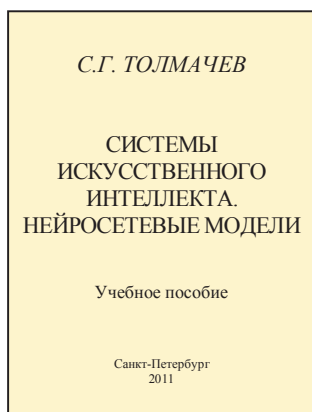
Концерн «Гранит-Электрон» имеет статус Федерального научно-производственного центра, где создан большой научно-технический коллектив, в котором в разное время работали более 20 докторов технических наук и сотни кандидатов технических наук.

Научные школы выдающихся ученых, работавших на нашем предприятии: академика РАН Е.П. Попова, многогранного ученого в области систем управления движущимися объектами, доктора технических работ профессора БГТУ А.Т. Барабанова – создателя аналитической теории самонаведения, доктора технических работ профессора Ю.М. Козлова – одного из основоположников теории самонастраивающихся систем навигации летательных аппаратов, доктора технических работ

профессора Е.И. Хлыпало и их учеников, предложивших нелинейные динамические корректирующие устройства и разработавших теорию расчета систем автоматического управления с такими устройствами, принесли заслуженное признание высокому научному уровню коллектива.

Ведущие ученые предприятия всегда оказывали помощь высшим учебным заведениям Санкт-Петербурга в обучении студентов новым, актуальным для их практической деятельности дисциплинам теории управления и технической кибернетики (доктора технических работ, профессора А.Т. Барабанов, Ю.М. Козлов, С.Н. Шаров, Ю.С. Александров, С.Ф. Фёдоров и кандидаты технических работ доценты С.Г. Толмачев, А.А. Александров, А.Г. Юрескул в БГТУ «Военмех»; доктора технических работ профессора А.Г. Варжапетян, Г.А. Коржавин, Ю.Ф. Подоплёкин, А.Н. Сняжков, Р.И. Сольнищев, Е.И. Хлыпало и кандидаты технических работ доценты Ю.П. Иванов, И.В. Филатов, В.А. Мамаев в ГУАП [35]; доктора технических работ профессора С.Е. Душин, В.П. Калявин, А.З. Киселёв в СПГЭТУ ЛЭТИ).

Сотрудничество АО «Концерн «Гранит-Электрон» с ведущими техническими университетами Санкт-Петербурга, Российской академией ракетных и артиллерийских наук, Российским научно-техническим обществом судостроителей позволяет успешно подхватывать современные тенденции развития теории автоматического управления и технической кибернетики, что помогает концерну удерживать передовые позиции и на экспортном рынке в области создания сложных информационно-управляющих систем, входящих в комплексы приборов управления радиоэлектронных средств и ракетного вооружения морского и наземного базирования, обеспечивая надежную оборону морских границ и защиту национальных интересов России на всем Мировом океане [1, 2, 30, 36].



Учебные пособия кандидата технических наук, доцента С.Г. Толмачева [33 – 36]

ЛИТЕРАТУРА

1. ЦНИИ «Гранит»: Исторический очерк. – Ч. VI / Под науч. ред. В.В. Павлова. – Л.: Изд. ЦНИИ «Гранит», 1988. – 99 с.
2. АО «Концерн «Гранит-Электрон»: страницы истории / Ред. совет АО «Концерн «Гранит-Электрон». – СПб.: ООО «Аграф», 2011. – 272 с.
3. Подоплёкин Ю.Ф., Шаров С.Н. Истоки развития теории автоматического управления и технической кибернетики в ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»: История развития информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде) / Под ред. чл.-корр. РАН Р.М. Юсупова. – СПб.: Наука, 2010. – С. 70–93.
4. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975. – 767 с.
5. Хлытало Е.И. Нелинейные системы автоматического регулирования. – Л.: Энергия, 1967. – 451 с.
6. Хлытало Е.И. Нелинейные корректирующие устройства в автоматических системах. – Л.: Энергия, 1967. – 344 с.
7. Зельченко В.Я., Шаров С.Н. Нелинейная коррекция автоматических систем. – Л.: Судостроение, 1981. – 168 с.
8. Зельченко В.Я., Шаров С.Н. Расчет и проектирование автоматических систем с нелинейными динамическими звеньями. – Л.: Машиностроение, 1986. – 174 с.
9. Вавилов А.А. Частотные методы расчета нелинейных систем. – Л.: Энергия, 1970. – 323 с.
10. Козлов Ю.М., Юсупов Р.М. Беспорядочные самонастраивающиеся системы. – М.: Наука, 1969. – 456 с.
11. Козлов Ю.М. Адаптация и обучение в робототехнике. – М.: Наука, 1990. – 455 с.
12. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем автоматического управления. – Л.: Энергия, 1969. – 526 с.
13. Хлытало Е.И., Подвальных А.С., Шаров С.Н. Применение некоторых типов нелинейных динамических корректирующих устройств для синтеза квазиинвариантных автоматических систем. АН СССР. – Тр. 4-го Всесоюз. совещания по теории инвариантности и теории чувствительности, Киев, 1971, с. 148–157.
14. Подвальных А.С., Шаров С.Н. Исследование вынужденных колебаний электромеханического привода с люфтом и инерционной нагрузкой // Электричество. – 1975. – № 12. – С. 34–37.
15. Шаров С.Н., Зонис Е.М., Зонис Ю.М. Исследование динамики электропривода с учетом люфта и сухого трения // Электричество. – 1983. – С. 68–74.
16. Шаров А.Н., Шаров С.Н. Автоматизация проектирования оптимальных нелинейных аналоговых устройств систем управления с учетом чувствительности к параметрам элементов системы // Вопросы кибернетики. Теория чувствительности и ее применение. – 1977. – Вып. 31. – С. 124–130.
17. Шаров А.Н., Шаров С.Н. О возможности разрывов и скачков функций чувствительности гармонически линеаризованных нелинейных корректирующих устройств // Вопросы кибернетики. Теория чувствительности и ее применение. – 1977. – Вып. 31. – С. 117–124.
18. Латин В.А., Сияжков А.Н., Филатов И.В., Хлытало Е.И. Чувствительность нелинейных корректирующих устройств в автоматических системах со случайными воздействиями // Вопросы кибернетики. Адаптивные системы управления. – 1979. – Вып. 63. – С. 179–189.
19. Зельченко В.Я., Пчелко В.Л., Шаров С.Н. Чувствительность гармонически линеаризованных систем // Вопросы кибернетики. Адаптивные системы управления. – 1979. – Вып. 63. – С. 197–206.
20. Филатов И.В., Шаров С.Н. Исследование параметрической чувствительности нелинейных динамических корректирующих устройств // Изв. АН СССР: Сер. «Техническая кибернетика». – 1977. – № 2. – С. 192–195.
21. Вавилов А.А., Рубахин Р.А., Шаров С.Н. Некоторые особенности анализа параметрической чувствительности частотных характеристик исполнительных механизмов. – Тр. Всесоюз. школы-семинара по теории чувствительности систем управления, ДВНЦ, 1979, т. 1.
22. Хлытало Е.И., Шаров С.Н. Параметрическая оптимизация нелинейных динамических корректирующих устройств с учетом чувствительности к изменению параметров элементов. – Тр. Всесоюз. школы-семинара по теории чувствительности систем управления, ДВНЦ, 1979, т. 1.
23. Андриевский В.Р., Шаров С.Н. Нелинейная коррекция в системах управления летательных аппаратов // Изв. РАН. – 2004. – Вып. 4. – С. 66–75.
24. Шаров С.Н. Модели факторов для обоснования развития систем управления беспилотных летательных аппаратов. – В сб. ст. «Проблемы создания радиоэлектронного вооружения и систем управления кораблей». – Кн. 3: Перспективные информационные технологии. / Под ред. С.П. Мастина и С.Н. Шарова. – СПб.: Изд. ОАО «Концерн «Гранит-Электрон», 2007, с. 20–27.
25. Бажин С.А., Герасимова Т.С., Козятинский В.Н., Лентовский В.В., Шаров С.Н. Отражательные характеристики объектов и покрытий на длине волны 1,06 мкм. – СПб.: Судостроение, ЦНИИ «Гранит», 1993. – 88 с.
26. Шаров С.Н. Основы проектирования информационно-измерительных приборов систем управления движущимися объектами: Учеб. пособие. – СПб.: БГТУ «Военмех», 1998. – 98 с.
27. Александров А.А., Дворяшин М.С., Морозов В.В., Петухова Е.С., Подоплёкин Ю.Ф., Соловьев А.В., Соловьева В.В., Толмачев С.Г., Шаров С.Н., Яцковская И.М. Посадка беспилотных летательных аппаратов на суда: проблемы и решения. / Под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. Г.А. Коржавина. – СПб.: Судостроение, 2014. – 192 с.
28. Шаров С.Н. Информационные каналы систем управления беспилотных летательных аппаратов. – СПб.: БГТУ «Военмех», АО «Концерн «Гранит-Электрон», РАН, 2018. – 144 с.
29. Шаров С.Н. Информационные управляющие системы беспилотных летательных аппаратов. – СПб.: БГТУ «Военмех», 2007. – 256 с.
30. Шаров С.Н. Локационные управляющие системы беспилотных летательных аппаратов. – СПб.: БГТУ «Военмех», 2009. – 312 с.
31. Толмачев С.Г. Алгоритмы поиска в системах искусственного интеллекта. – СПб.: БГТУ «Военмех», 2011. – 132 с.
32. Толмачев С.Г. Системы искусственного интеллекта. Нейросетевые модели. – СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2012. – 87 с.
33. Толмачев С.Г. Основы искусственного интеллекта. – СПб.: БГТУ «Военмех», 2017. – 132 с.
34. Толмачев С.Г. Основы мягких вычислений. – СПб.: БГТУ «Военмех». 2018. – 66 с.
35. Иванов Ю.П., Сияжков А.Н., Филатов И.В. Комплексирование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов / Под редакцией В.А. Боднера. – Л.: Машиностроение, 1984. – 256 с.
36. Подоплёкин Ю.Ф., Соловьева В.В., Толмачев С.Г., Шаров С.Н. Интеллектуальные информационные управляющие системы со сложными локационными сигналами для беспилотных летательных аппаратов. – СПб.: БГТУ «Военмех», АО «Концерн «Гранит-Электрон», РАН, 2020. – 244 с. ■

В настоящее время все больше кораблей и судов, построенных еще в прошлом веке, проходят модернизацию в связи с моральным устареванием или выходом из строя оборудования. На некоторых отечественных судах и кораблях наряду с современным морским навигационным оборудованием все еще используется оборудование с устаревшей системой обмена данных [1–4]. В ряде случаев устаревшее оборудование сохраняет свои эксплуатационные свойства и продолжает исправно работать, а его замена является дорогостоящей и экономически нецелесообразной. Таким образом, вопрос сопряжения устаревших систем и устройств с новыми становится актуальным.

В соответствии с IEC61162-1 современное морское навигационное оборудование различных производителей использует стандарт NMEA 0183, определяющий протокол связи оборудования между собой [5, 6].

Существует несколько вариантов сопряжения устаревшего на судне оборудования с новым:

- замена устаревшего оборудования на новое, поддерживающее стандарт NMEA 0183;
- разработка промежуточного устройства (конвертер).

В данной статье авторы рассматривают вариант разработки конвертера сигналов.

Перед компанией АО «НПФ «Меридиан», одной из ведущих компаний морского приборостроения России, была поставлена задача по разработке конвертера сигналов формата NMEA 0183 в импульсный код для сопряжения спутникового компаса «FURUNO SC-70» и авторулевого «АГАТ-М».

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНВЕРТЕРА

Основываясь на особенностях передачи данных между устройствами, авторы сформировали ряд технических требований к разрабатываемому конвертеру, которые представлены ниже.

- Конвертеру сигналов также должен:
- в режиме реального времени обрабатывать данные;
 - не вносить существенных искажений в обрабатываемый сигнал;
 - иметь гальваническую развязку между сигнальными цепями.

На основе составленных технических требований к конвертеру была разработана его структурная схема, которая представлена на рис. 1.

Вычислительный модуль является ключевым элементом конвертера. Именно он преобразует входной сигнал в формате NMEA0183 в импульсный 16-разрядный последовательный

РАЗРАБОТКА КОНВЕРТЕРА СИГНАЛОВ NMEA 0183 В ИМПУЛЬСНЫЙ КОД

*М.И. Базанов, инженер,
Ю.В. Шанин, инженер,
АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 0375, доб. 523*

Технические требования к разрабатываемому конвертеру

Параметр	Значение
Напряжение питания постоянного тока, В.....	24
Максимальная потребляемая мощность, Вт.....	2
Входной интерфейс.....	RS-422/485 (4800 baudrate, двухпроводное соединение)
Входной протокол.....	NMEA 0183
Выходной протокол.....	импульсный 16-разрядный последовательный двоичный код
Логические уровни выходного протокола, В.....	«0» = 0...1,7 «1» = 3,4...5
Тактовая частота передаваемых импульсов, кГц.....	115 ± 2,2
Период выдачи кодовых посылок курса, мс.....	32 ± 2



Рис. 1. Структурная схема конвертера

двоичный код. В качестве вычислительного модуля выбран микроконтроллер STM32, так как он обладает значительными вычислительными мощностями, достаточными для решения рассматриваемой задачи.

В роли приемного тракта рассмотрен изолированный приемопередатчик RS-485. Для обеспечения гальванической развязки цепи микроконтроллера и выходного тракта в конвертере используется оптопара. В качестве модуля опторазвязки выбрана микросхема ACPL-024L [5]. Встроенный внутри модуля ACPL-024L триггер Шмитта выравнивает фронт сигнала, а встроенная схема CMOS-логики на MOSFET транзисторах на частоте до 5 МГц обеспечивает строго два уровня выходного сигнала: +5 В и 0 В [7, 8].

Для обеспечения питания вычислительного модуля и микросхем входного и выходного трактов были использованы два гальванически изолированных DC/DC преобразователя, преобразующих судовые 24 В в 3,3 В и 5 В соответственно.

АЛГОРИТМ РАБОТЫ КОНВЕРТЕРА

Процесс конвертации сообщения NMEA 0183 в импульсный код происходит по следующему алгоритму: сообщения в формате NMEA0183 от современного морского навигационного оборудования, передаваемые по интерфейсу RS-485, поступают на вход приемного тракта. Приемный тракт преобразует RS-485 в интерфейс UART. Далее сообщения поступают в микроконтроллер.

Все NMEA 0183 сообщения состоят из последовательного набора данных, разделенных запятыми. Каждое отдельное сообщение не зависит от других и является полностью «завершенным». NMEA 0183 сообщение включает заголовок, набор данных, представленных ASCII символами, и поле контрольной суммы для проверки достоверности переданной информации. Заголовок стандартных NMEA сообщений состоит из пяти символов, из которых два первых определяют тип сообщения, а оставшиеся три – его название. Микроконтроллер

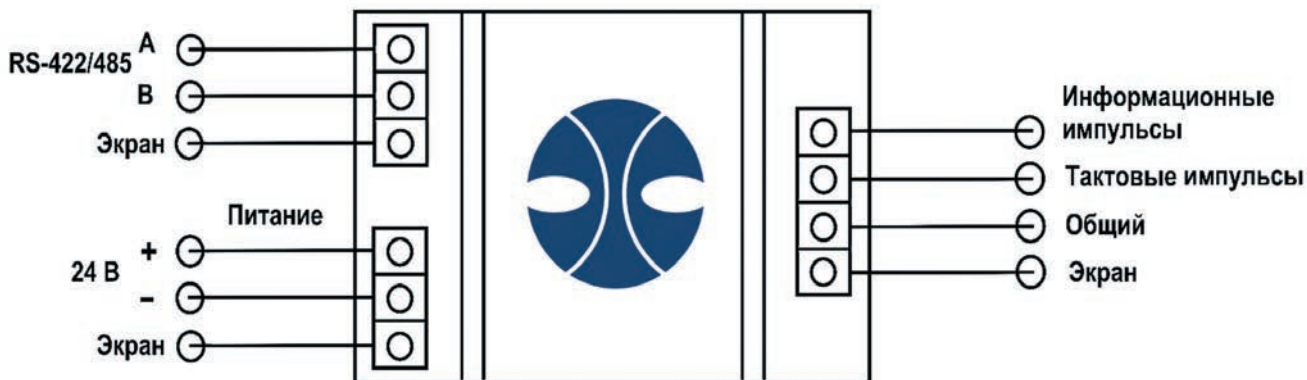


Рис. 2. Схема внешних подключений

Таблица

Множитель кода

Номер такта	1 2 3 4	5 6 7 8	9 10 11 12	13 14 15 16
Множитель кода	×100	×10	×1	×0,1

выбирает нужное сообщение из протокола, к примеру, сообщение, содержащее курс: \$SHEHDT,359.9,T*29\r\n. Далее происходит проверка контрольной суммы, и в случае совпадения из сообщения извлекается требуемая информация, в данном случае – значение курса 359.9. После этого данные конвертируются в импульсный 16-разрядный последовательный двоичный код.

Конвертер выдает значение курса по трехпроводной линии связи со следующими предназначениями линий (рис. 2):

- линия №1: тактовые импульсы (импульсы синхронизации);
- линия №2: информационные импульсы (код курса);

– линия №3: общая точка сигналов.

Разработанный конвертер выдает значение курса 16-разрядным последовательным двоичным кодом. Передача информации происходит поразрядно, начиная со старшего разряда в соответствии с табл. 1.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для проверки работоспособности конвертера был разработан имитатор сигналов NMEA 0183. Окно разработанной программы представлено на рис. 3.

Пример полученных экспериментальных результатов по конвертации курса 359,9° представлен на рис. 4 и на рис. 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фирма АО «НПФ «Меридиан» разработала конвертер сигналов формата NMEA 0183 в импульсный код для сопряжения спутникового компаса «FURUNO SC-70» и авторулевого «АГАТ-М». Данный конвертер успешно прошел ходовые испытания на судне «Петр Матвеев» пр. 14232 «Меркурий». Практическая значимость проведенной работы заключается в перспективности применения предложенного технического решения для обеспечения надежного сопряжения морского навигационного оборудования с различными протоколами передачи данных. Выполнение данной

NMEA 0183 TO COM PORT

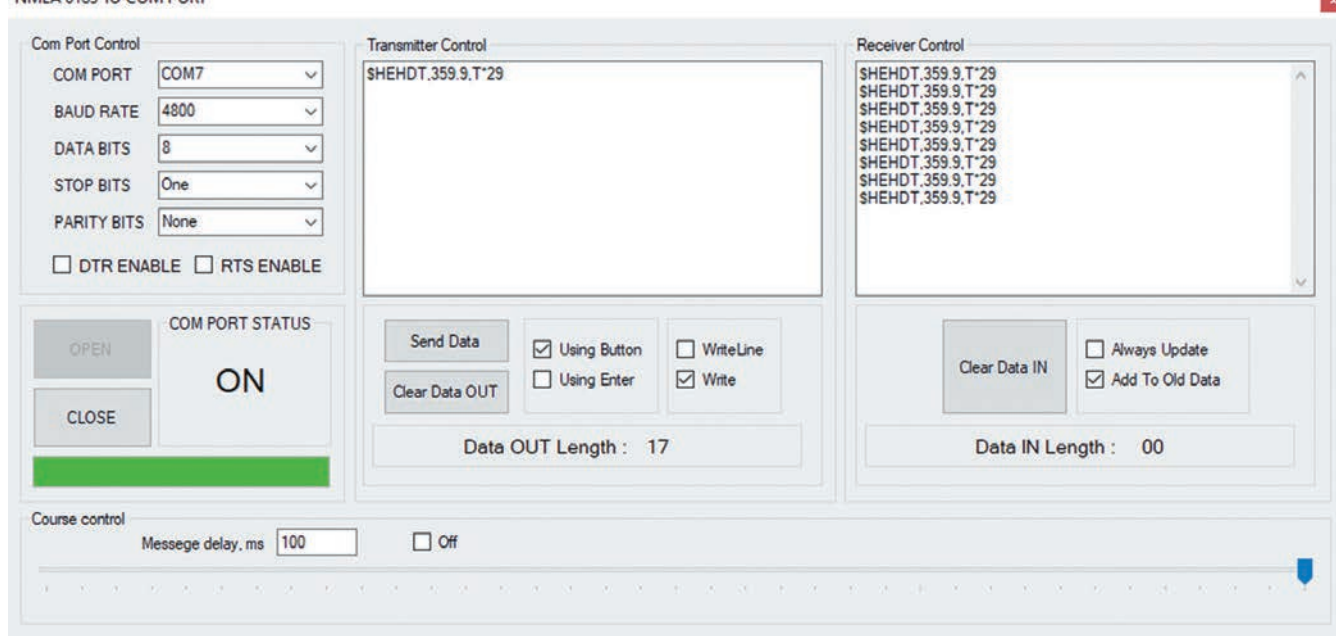


Рис. 3. Окно программы-имитатора сигналов NMEA 0183

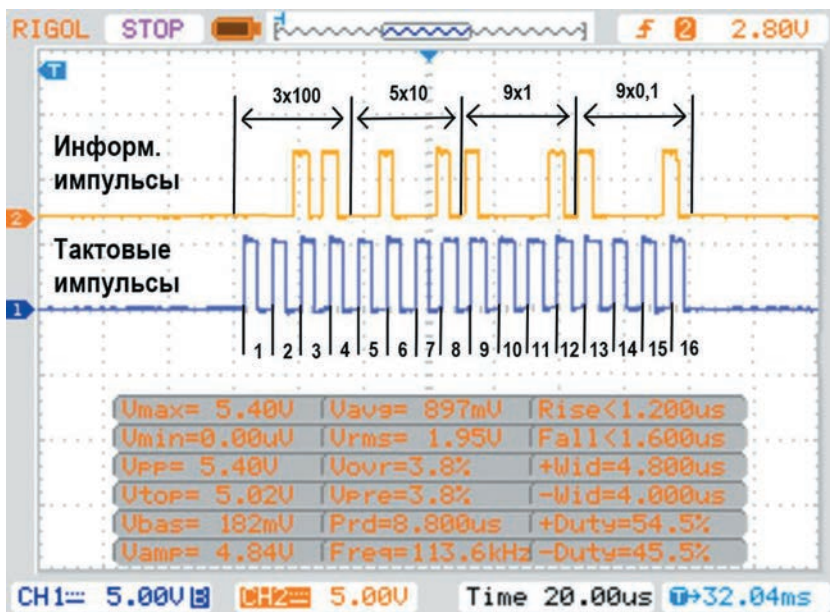


Рис. 4. Осциллограммы выходных сигналов конвертера

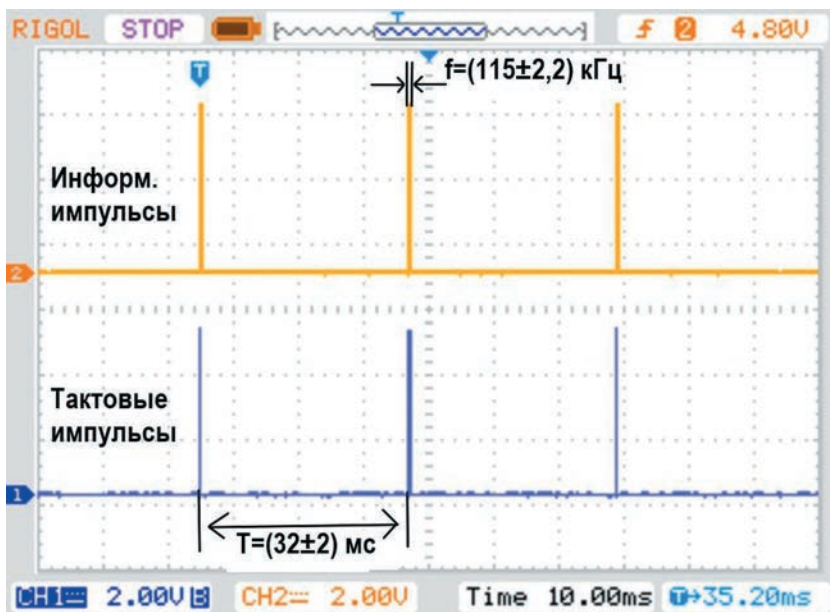


Рис. 5. Осциллограммы выходных сигналов конвертера

задачи показало готовность фирмы АО «НПФ «Меридиан» реализовывать в кратчайшие сроки и с необходимым качеством индивидуальные заказы и проекты [1, 2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Коротков С.С. Тихоненко А.М. Инновационный подход к разработке интегрированных мостиковых систем // Морской вестник. – 2014. – №4.
2. Коротков С.С. Балушкин Е.М. Концептуальные шаги при создании автономных и телеуправляемых судов // Морская радиоэлектроника. – 2016. – №2.
3. Маринич А.Н., Припотнюк А.В., Устинов Ю.М. и др. Современное судовое оборудование средств электронной навигации, ГМССБ и береговая единая система контроля и управления судоходством: монография / Под ред. Ю. М. Устинова. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2007. – 261 с.
4. Маринич А.Н., Резников Ю.М., Устинов Ю.М., Шигабутдинов А.Р. Автоматизированные системы мониторинга судоходства / Под общ. ред. Ю. М. Устинова. – СПб.: Судостроение, 2003. – 248 с.
5. National Marine Electronics Association. – <http://www.nmea.org>
6. Publications and Standards from the National Marine Electronics Association (NMEA) / NMEA 0183. – NMEA, November 2008. Archived from the original on 2013-10-21. Retrieved 2013-10-21.
7. ACPL-M21L, ACPL-021L and ACPL-024L Low Power, 5 MBd Digital CMOS Optocoupler. Data Sheet. Avago technologies.
8. Харрис Д.М., Харрис С.Л. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. – [Электронный ресурс] – Elsevier. inc: Нью-Йорк, Изд-во Morgan Kaufman, 2013. ■

В последнее время большое внимание уделяется вопросам безэкипажного судоходства. В данной работе будут рассматриваться организационные и технические задачи дистанционного управления безэкипажными судами в терминах «Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС)» НД № 2-030101-037 Российского морского регистра судоходства [1]. На дистанционного управления из берегового центра дистанционного управления (ЦДУ), а также в режиме ручного управления (при существенно сокращенном экипаже). Персонал ЦДУ планирует маршруты движения каждого МАНС, контролирует их состояние и движение при плавании в автономном режиме, а также при необходимости может переводить в режим дистанционного управления. Ниже будут представлены принципы организационного и технического обеспечения контроля и управления МАНС из ЦДУ, рассмотрены их преимущества и недостатки. Работа выполнена в рамках проекта разработки Платформы моделирования безэкипажного судоходства (ПМБС) НТИ «Маринет» в ООО «Стеор» (Группы компаний «Ситроникс»).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Можно выделить несколько групп задач, связанных с взаимодействием МАНС и береговых ЦДУ. К первой группе относятся задачи, связанные с определением архитектуры системы управления и состава ЦДУ, ко второй – с определением объема и состава информации, передаваемых между ЦДУ и МАНС, к третьей – организация связи между ЦДУ и МАНС.

Управление МАНС с ЦДУ должно обеспечиваться только путем передачи заданных значений различных параметров, поступающих из ЦДУ в систему автоматического управления и маневрирования (САУДиМ), интегрированную мостиковую систему (ИМС), которые могут включать в себя многофункциональный дисплей (МФД), состоящий из ЭКНИС, РЛС, Coning Display, дисплея состояния технических средств (ТС) МАНС и интегрированную систему управления (ИСУ) ТС. Отрабатывать заданные значения параметров управления должны бортовые системы автоматизации МАНС. Таким образом необходимо определить состав сигналов контроля и управления САУДиМ, ИМС и ИСУ ТС МАНС.

Следует также определить состав видео- и радиолокационной информации, которая передается с МАНС в ЦДУ для однозначного понимания навигационной обстановки в районе плавания МАНС и эффективного принятия решений по управлению операторами в ЦДУ.

Обмен информацией между ЦДУ и МАНС должен осуществляться по двум каналам связи. Один канал может быть узкополосным и передавать телеметрическую информацию (сигналы ИСУ ТС, САУДиМ), второй канал должен быть широкополосным и передавать видео- и радиолокационную информацию. Для этого могут быть использованы наземные или спутниковые каналы связи.

Исходя из вышесказанного, для реализации управления МАНС с ЦДУ необходимо определить: структуру управления и состав ЦДУ; требования к ЦДУ, к ИМС, ИСУ ТС и САУДиМ МАНС; способы и средства обмена данными и информацией между БЭС и ЦДУ.

СИСТЕМА НЕЗАВИСИМЫХ ЦДУ

Для решения задач контроля и управления МАНС в любой точке Мирового океана следует развернуть целую сеть ЦДУ. При этом возможна реализация различных архитектур такой системы, варианты которой рассмотрены в данном разделе.

ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЕЗЭКИПАЖНЫМИ СУДАМИ

В.М. Амбросовский, канд. техн. наук, доцент Ленинградского электротехнического университета «ЛЭТИ»,
Д.В. Казулин, д-р техн. наук, директор департамента АО «Ситроникс КТ»,
С.В. Смоленцев, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой
 Государственного университета морского и речного флота,
 контакт. тел. +7 (921) 423 9492, +7 (911) 114 4834, +7 (921) 637 2680

Система независимых ЦДУ. В данном варианте предусматривается наличие независимых береговых ЦДУ, каждый из которых управляет одним или несколькими МАНС. При этом каждый ЦДУ проводит мониторинг состояния и управление закрепленными за ним МАНС на протяжении всего маршрута (рейсового задания) в любых районах, разрешенных для плавания управляемого МАНС. При необходимости ЦДУ берет на себя дистанционное управление МАНС. Обмен информацией между МАНС и ЦДУ осуществляется через спутниковые и наземные каналы радиосвязи.

Такой ЦДУ является коммерческой или государственной структурой, которая сертифицируется и контролируется Морской администрацией страны-флага. Таким образом, судовладелец (оператор) МАНС передает право на мониторинг и управление своим судном на аутсорсинг этому ЦДУ.

Аналогом такой системы управления является традиционная система управления судном, когда его действиями на протяжении всего рейса управляет один капитан, в данном случае удаленно, с берега. Структура такой системы управления представлена на рис. 1.

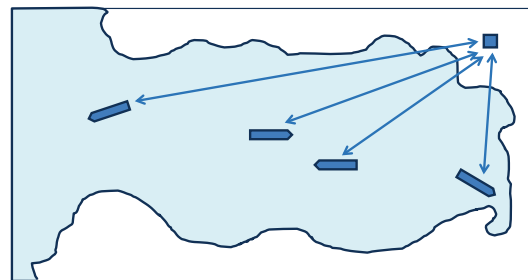


Рис. 1. Управление МАНС из одного центрального ЦДУ

Преимущества:

- вся информация о параметрах МАНС, его состоянии, текущей навигационной обстановке и т.п. хранится и обрабатывается в одном месте; специалисты имеют опыт работы именно с данным судном;
- планирование и изменения маршрута (рейса) МАНС оперативно проводятся в одном месте под контролем судовладельца (оператора);
- накопление информации о результатах мониторинга состояния МАНС и его систем в процессе эксплуатации позволяет принимать решения о его техническом обслуживании и ремонте, своевременно прогнозировать и предупреждать отказы оборудования.

Недостатки:

- задержки в принятии решений и управлении МАНС в удаленных от ЦДУ регионах;
- специалисты, дистанционно управляющие МАНС, могут не иметь достаточной компетенции по управлению судном в районах интенсивного судоходства, проливах, каналах, на подходах и в акваториях портов конкретных регионов;
- решения по управлению МАНС в конкретной акватории не согласуются с решениями по управлению МАНС, находящимися под контролем других таких же ЦДУ, других операторов.

Система региональных ЦДУ. В данном варианте вся акватория, разрешенная для эксплуатации любых МАНС, делится на зоны ответственности, за каждой из которых закреплен отдельный береговой центр – региональный ЦДУ. Таким образом создается распределенная система ЦДУ, которая контролирует всю акваторию, разрешенную для эксплуатации МАНС. По аналогии с диспетчерскими службами авиационного сообщения, каждый ЦДУ осуществляет контроль состояния и управление любым МАНС, который находится в зоне его ответственности. При переходе МАНС в зону ответственности другого регионального ЦДУ, управление МАНС передается этому центру (аналог роуминга в сотовой системе связи). В результате кроме начального ЦДУ, за которым закреплен МАНС (и из которого он выходит), должны быть региональные ЦДУ, которые сопровождают его по маршруту движения, а, по сути, делят морские и речные торговые пути на зоны ответственности, за каждой из которых закреплен отдельный региональный ЦДУ. Таким образом создается распределенная система ЦДУ, которая контролирует всю акваторию морских и речных торговых путей. Размер региона, который может контролироваться одним ЦДУ, бывает значительным, поэтому связь между МАНС и ЦДУ осуществляется по спутниковым каналам. Между центральным и региональными ЦДУ также должны быть спутниковые и каналы наземной связи.

Региональные ЦДУ создаются и управляются Морской администрацией транзитных государств, при этом необходима общая организационная структура, которая будет сертифицировать и контролировать эти ЦДУ. В этом случае судовладелец (оператор) МАНС передает право на мониторинг и управление своим судном на аутсорсинг системе региональных ЦДУ (если маршрут его судна проходит через несколько зон ответственности разных ЦДУ).

Аналогом такой системы является система контроля и управления трафиком в авиации, когда на разных участках полета воздушное судно контролируется разными диспетчерами. Состав системы представлена на рис. 2.

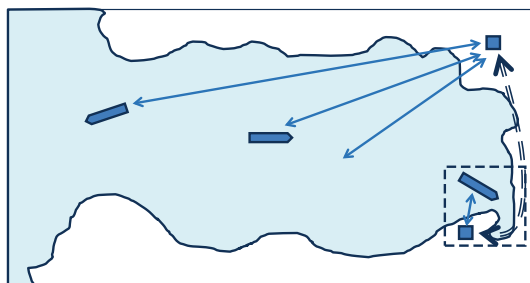


Рис. 2. Система региональных ЦДУ с системой обмена данными между ними

Преимущества:

- высокая скорость и точность принятия решений по управлению МАНС;
- решения по управлению всеми МАНС в одной акватории принимает один ЦДУ;
- специалисты, дистанционно управляющие МАНС в одной акватории, имеют опыт работы в данном районе.
- планирование и изменения маршрута МАНС могут производиться в разных ЦДУ.

Недостатки:

- при переходе МАНС из зоны ответственности одного ЦДУ в зону ответственности другого необходимо передавать значительные объемы информации о судне между этими ЦДУ;
- в региональных ЦДУ не накапливается информация о результатах мониторинга состояния МАНС и его систем в течение эксплуатации, что не позволяет принимать решения о его техническом обслуживании и ремонте, своев-

ременно прогнозировать и предупреждать отказы оборудования;

- специалисты, дистанционно управляющие различными МАНС, могут не иметь опыт работы именно с данным конкретным судном.

Комбинированная система ЦДУ. В данном варианте используется два типа ЦДУ. Независимый ЦДУ проводит мониторинг и управление закрепленными за ним МАНС на всем протяжении рейса, как и в первом случае, описанном выше. Локальный ЦДУ контролирует акваторию с высокой плотностью судоходства или стесненными условиями плавания (узкости, каналы, подходы и акватории портов и т.п.). В отличие от региональных ЦДУ, локальные ЦДУ контролируют сравнительно небольшие акватории. При заходе МАНС в зону ответственности локального ЦДУ мониторинг и управление МАНС передается этому локальному ЦДУ, который и обеспечивает навигацию в зоне своей ответственности. При этом независимый ЦДУ продолжает проводить мониторинг этого МАНС. При выходе из зоны ответственности локального ЦДУ управление МАНС возвращается независимому ЦДУ.

Локальные ЦДУ создаются и управляются Морской администрацией транзитных государств, при этом необходима общая организационная структура, которая будет сертифицировать и контролировать эти ЦДУ. Судовладелец (оператор) МАНС передает право на мониторинг и управление своим судном на аутсорсинг независимому ЦДУ. При передаче права на мониторинг и управления МАНС локальному ЦДУ независимый ЦДУ делегирует ему на время это право.

Аналогом такой системы управления является традиционная система управления судном, когда его действиями на протяжении всего рейса управляет один капитан, но при проходе узкостей или в акватории порта к управлению судном привлекается лоцман, знакомый с особенностями данной акватории и местными условиями плавания. Архитектура системы представлена на рис. 3.

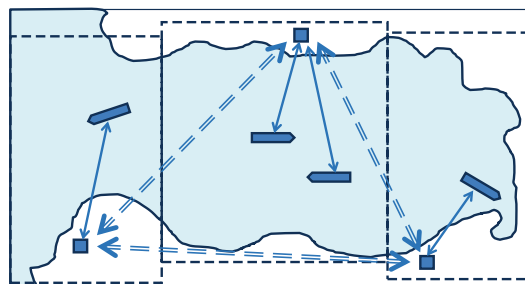


Рис. 3. Традиционная система управления МАНС

Преимущества:

- вся информация о параметрах МАНС, его состоянии, текущей навигационной обстановке, планирование и изменения маршрута и т.п. хранится и обрабатывается более оперативно в одном месте под контролем судовладельца (оператора);
- накопление информации о результатах мониторинга состояния МАНС и его систем в процессе эксплуатации позволяет принимать решения о его техническом обслуживании и ремонте, своевременно прогнозировать и предупреждать отказы оборудования;
- специалисты, дистанционно управляющие МАНС, имеют опыт работы именно с данным судном;
- в районах интенсивного судоходства, проливах, каналах, на подходах и в акваториях портов МАНС управляется локальным ЦДУ, специалисты которого имеют достаточную компетенцию по управлению судном в данной акватории.

Недостатки:

- решения по управлению МАНС в каждой конкретной акватории (за исключением акваторий, контролируемых

локальными ЦДУ) не согласуются с решениями по управлению МАНС, находящихся под контролем других ЦДУ;

- при передаче управления между независимым и локальным ЦДУ необходимо обеспечить передачу информации о характеристиках МАНС и состоянии его подсистем между этими ЦДУ.

Следует заметить, однако, что на начальной стадии развития безэкипажного судоходства при небольших количествах реальных МАНС на линиях, развертывание мировой сети региональных ЦДУ нецелесообразно, а в дальнейшем должно планомерно регулироваться ИМО. Локальные ЦДУ имеет смысл создавать в акваториях, через которые проходит значительное количество МАНС. Например, в портах, оборудованных специальными средствами приема судов. Таким образом, в настоящее время (на начальной стадии развития) наиболее реально использование независимых ЦДУ, построенных с учетом их последующей трансформации в локальные ЦДУ, входящих в мировую сеть сопровождения МАНС. При этом такой ЦДУ может быть организован владельцем (оператором) нескольких МАНС, работающих, например, на определенной линии.

ФУНКЦИИ И СОСТАВ ЦЕНТРОВ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

ЦДУ – важный элемент концепции безэкипажного судоходства. Центр располагается на берегу и должен обеспечивать функционирование МАНС во всех режимах управления. Для этого ЦДУ должен:

- планировать маршрут движения МАНС в соответствии с рейсовым заданием с учетом навигационных и гидрометеорологических условий в районе плавания;
- контролировать текущую навигационную обстановку и гидрометеорологические условия в районе плавания МАНС и при необходимости корректировать маршрут движения МАНС;
- контролировать движение МАНС по маршруту;
- проводить мониторинг и оценку состояния МАНС и его подсистем;
- обеспечивать переключение режимов управления МАНС;
- осуществлять дистанционное управление МАНС.

Для управления конкретным МАНС в ЦДУ необходимо оборудовать специальные посты управления. С одного поста управления в каждый момент времени можно управлять одним МАНС. При необходимости любой пост может быть переключен на управление выбранным МАНС. Структура и состав поста управления должен, с одной стороны, иметь привычный для судоводителя вид и состав, а с другой – ЦДУ должен обслуживать разные типы МАНС, что усложняет как вид, так и состав ЦДУ. В минимальной конфигурации пост управления

ЦДУ, изготовленный в виде типовой ИМС, должен включать АРМ судоводителя (С) и АРМ механика (М). Вследствие того, что МАНС разных типов могут иметь разные средства управления движением и маневрированием и разные панели контроля и управления (ПКУ), панели индикации (ПИ), целесообразно все ПКУ и ПИ сделать на базе интерактивных видеомониторов соответствующих габаритов, что позволит легко переходить от управления одного типа МАНС к другому. АРМ судоводителя должен включать органы управления рулем (ВРК), подруливающими устройствами, а также многофункциональный дисплей (МФД), содержащий ЭКНИС и РЛС, типовые ПКУ и ПИ, клавиатуру и манипулятор типа «трек-бол» для управления МФД. АРМ-М должен включать мониторы ИСУ ТС, типовые ПКУ и ПИ, клавиатуру и манипулятор типа «трек-бол» для управления МФД. Все АРМ на случай резервного управления судном под управлением экипажа должны включать необходимые средства радиосвязи.

Эти АРМ судоводителя и механика могут быть установлены в единую консоль ЦДУ. Оператор поста управления ЦДУ должен визуально видеть состояние окружающей среды (море, небо) в таком же секторе обзора, как на борту судна, при взгляде в нос и корму МАНС, так же целесообразно обеспечить привычный вид интегрированной мостиковой системы (ИМС). В этом случае пост управления может иметь вид, представленный на рис. 4.

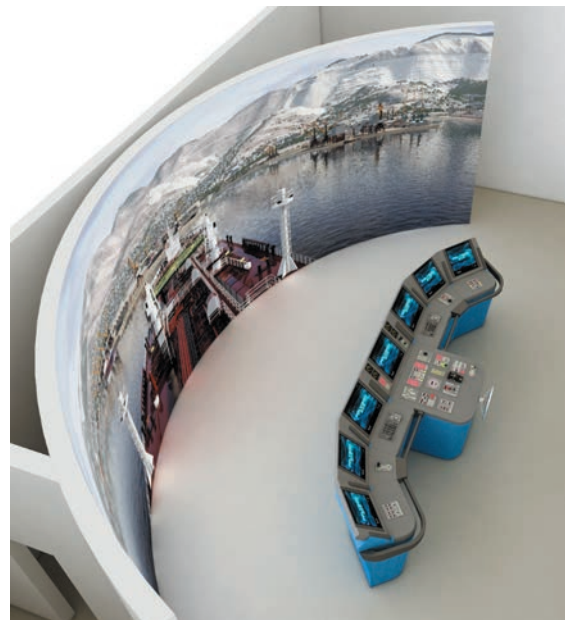


Рис. 4. Состав поста управления МАНС в ЦДУ



Рис. 5. Пример реализации поста управления МАНС с системой контроля работы инфраструктуры ЦДУ

а)



б)

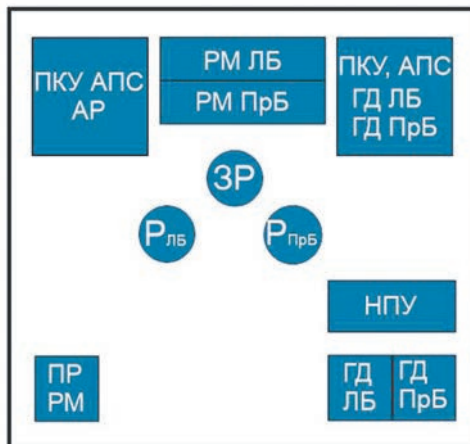


Рис. 6. эскиз панели АРМ-С двухвального МАНС с НПУ: а – эскиз вертикальной части секции; б – эскиз горизонтальной части секции

Рис. 4. Состав поста управления МАНС в ЦДУ

Возможный вариант реализации поста управления МАНС в ЦДУ с визуализацией на вертикальных панелях и системой контроля работы инфраструктуры ЦДУ показан на рис. 5.

В качестве примера рассмотрим АРМ судоводителя (АРМ-С) типового двухвального МАНС, на котором установлены винты регулируемого шага (ВРШ), вертикальные рули (ВР) направления и носовое подруливающее устройство (НПУ). Типовой состав лицевых панелей такого АРМ судоводителя-оператора приведен на рис. 6. Все ПКУ и ПИ должны быть реализованы в виде виртуальных панелей с использованием сенсорных мониторов. Пример горизонтальной части секции АРМ-С приведен на рис. 7.



Рис. 7. Горизонтальная часть секции АРМ-С

ОБМЕН ИНФОРМАЦИЕЙ МЕЖДУ ЦДУ И МАНС

Состав параметров, видео и другой информации, которой обменивается ЦДУ и МАНС, является очень важной частью дистанционного контроля и управления МАНС. В первом приближении от каждого МАНС в ЦДУ в режиме контроля должны поступать:

- сведения о режиме движения (открытая вода, проходные узкость, швартовка);
- навигационные данные (текущая скорость хода, курс, координаты местоположения);
- параметрические данные ИСУ ТС (состояния ТС МАНС) в объеме информации, передаваемой в ИМС, и в регистратор данных рейса (РДЛ).

В режиме дистанционного управления в МАНС должны поступать заданные значения управления (заданные скорость хода, угол курса, координаты галса, по которому идет МАНС, или радиус (угловая скорость) поворота).

В режиме дистанционного управления на МАНС должны поступать заданные значения управления (заданные скорость хода, угол курса, координаты галса, по которому идет МАНС, или радиус (угловая скорость) поворота).

Кроме обмена сигналами контроля и управления, в ЦДУ с МАНС должна передаваться видеоинформация: с ВК наружного и внутреннего наблюдения МАНС, указанных оператором ЦДУ, и информация с МФД, включая ЭКНИС, РЛС и Coning Display; сигналы аварийно-предупредительной сигнализации (АПС) бортовых систем и систем управления МАНС, а также сигналы обобщенной АПС.

Как было сказано выше, для обмена информацией нужно использовать узкополосный радиоканал, а для получения видеоинформации – использовать широкополосный радиоканал. Сегодня наиболее широко применяется спутниковая связь, которая, без сомнения, будет основным видом связи при управлении МАНС. Радиосвязь должна сохраняться как дублирующая.

Для обмена информацией телеметрии на расстояниях до 30 мор. миль можно использовать УКВ диапазон, на расстояниях до 150 мор. миль обычно используют ПВ диапазон, при больших расстояниях необходимо использовать КВ диапазон.

Для передачи информации с большей скоростью и на большие расстояния можно применять радиосвязь, которая работает в диапазонах до 80–100 ГГц. Так, например, трансляторы на частотах 5–8 ГГц обеспечивают передачу сигнала на расстояние 50 км и дальше при уверенном приеме сигнала [2]. Для увеличения дальности связи можно использовать другие МАНС в качестве ретрансляторов. Обычно радиосвязь имеет модуль уплотнения, обеспечивающий ее подключение к сети Ethernet. Сегодня для радиосистем, используемых в видеонаблюдении, применяют технологию передачи PDH с низкой и средней скоростью, а при необходимости формировать скоростные каналы до 2,5 Гбит/с – технологию SHD [2]. Для устойчивости передачи информации в радиосистемах используются сложные протоколы, включающие избыточность и резервирование. Поэтому можно остановиться на радиосвязи 5–8 ГГц, обеспечивающей полудуплексный и дуплексный способы обмена информацией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье кратко рассмотрены вопросы организационного и технического обеспечения контроля и управления МАНС из ЦДУ. Приведены преимущества и недостатки центрального и региональных ЦДУ, состав ЦДУ для типового МАНС, перечень сигналов и состав информации для обмена ЦДУ с МАНС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС) / Российский морской регистр судоходства. – СПб., 2020. – 96 с.
2. <https://www.videomax-server.ru/support/articles/radiokanal-v-sistemakh-videonablyudeniya/> ■

ВВЕДЕНИЕ

Интеграция разнородных судовых систем необходима для повышения надежности и эффективности выполнения экипажем своих функций, снижения рисков технических аварий и ошибок экипажа, повышения энергоэффективности работы корабельных систем в целом. Корабельные комплексы следует проектировать как многоагентные интеллектуальные системы с изменяющейся структурой, с базами знаний и экспертными системами, что позволит предупреждать, нивелировать и устранять конфликты, морфологически селективно и агрегировать данные [1].

Основные задачи подобных экспертных систем описаны в [6]. Способность решения подобных задач является признаком интеллектуальности экспертной системы (ЭС). Подробнее задачи, решаемые экспертными системами, рассмотрены в [5].

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОТОБРАЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Мощность экспертной системы обусловлена в первую очередь мощностью базы знаний (БЗ) и возможностью ее пополнения и только во вторую очередь – используемыми ею методами. Знания, позволяющие экспертной системе получить качественные и эффективные решения задач, являются эвристическими, экспериментальными, неопределенными, правдоподобными вследствие того, что решаемые экспертной системой задачи неформализованные или слабоформализованные [3].

Основные требования, предъявляемые к оболочке ЭС отображения радиолокационной информации (ЭС ОРИ):

- в оболочке ЭС должны иметься все виды средств обоснования решений (на основе векторного критерия качества, путем логического вывода или выполнения вычислений по формулам) в связи с различными контекстами решения задач проектирования;
- оболочка ЭС должна содержать средства ведения различных БЗ для обеспечения использования в процессе интеллектуального проектирования всех имеющихся видов знаний;
- пользователю должна быть предоставлена возможность решать задачу проектирования при не полностью определенной исходной информации;
- оболочка ЭС должна обеспечить проектировщика удобными средствами пополнения ее знаний;

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОТОБРАЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

*Ю.А. Ямицков, начальник научно-координационного центра АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. +7 (911) 933 7003*

- на каждом этапе должны существовать, как минимум, два варианта средств решения, что позволит подбирать более адекватный или удобный способ решения;
- проектировщик должен иметь возможность влиять на технологию решения задачи, приостанавливать процесс решения, возвращаться к предыдущим этапам;
- компоненты оболочки ЭС должны быть специализированы в рамках проектирования комплексов изделий для повышения эффективности функционирования.

В соответствии с вышеперечисленным оболочка ЭС должна включать три основных компонента: рабочую память (РП), процедуры вывода (решатель) и БЗ, как показано на рис. 1.

На рис. 2 показана интеллектуальная среда для создания оболочки ЭС, содержащая, кроме основных компонентов, и те, которые позволяют создавать интегрированные приложения в соответствии с современной технологией программирования.

В основе интеллектуальной среды лежат объектно-ориентированная база знаний (ОО-технология БЗ) и механизм вывода, способный оперировать с правилами, в которых явным образом отражено время (РВ-механизм вывода). На рисунке представлены компоненты, обеспечивающие моделирование, анимацию, активную графику, механизм общих правил и т.д. Отражены технологии и требования, обязательные для создания оболочки ЭС ОРИ.

Оболочка ЭС ОРИ в контуре проектирования корабельных изделий должна обладать «гибкостью мышления» или свойством адаптивности БЗ, что наиболее актуально в системах жесткого реального времени, где время реакции системы является решающим фактором ее нормального функционирования. Под адаптивностью системы понимается возможность модификации состава правил под влиянием вновь полученных знаний.

Большинство современных систем логического вывода позволяет модифицировать (т.е. добавлять и удалять правила) свою БЗ только в ручном ре-



Рис. 1. Оболочка ЭС отображения радиолокационной информации



Рис. 2. Интеллектуальная среда для создания оболочки ЭС

жиме. Пользователь может вносить новые правила и удалять старые, система осуществляет только контроль непротиворечивости информации. При этом никак не учитывается существующая информация – возможны ситуации, когда вместо добавления нескольких новых правил без учета уже существующих требуется добавить всего одно, которое дополняет имеющуюся информацию.

Таким образом, актуальной задачей при разработке оболочки ЭС ОРИ, включаемой в контур проектирования корабельных комплексов, является адаптация БЗ к новой информации средствами самой системы. Пользователь при этом не изменяет БЗ, а лишь предлагает системе новую информацию.

Одним из источников данных для оболочки ЭС является подсистема моделирования внешнего воздействия (см. рис. 1). Она используется для моделирования реальных объектов и устройств, с которыми работает оболочка ЭС ОРИ. В подсистеме предусмотрены следующие основные возможности:

- средства для вычисления алгебраических, разностных и дифференциальных уравнений первого порядка;
- возможность задания формул как для отдельных переменных, так и для классов переменных или параметров;
- возможность режима разделения времени, при котором система моделирования работала бы параллельно с остальными системами. За счет этого осуществляется вычисление моделируемых значений в процессе работы механизма вывода.

На различных этапах жизненного цикла моделируемого объекта подсистема моделирования служит достижению различных целей. Во время разработки подсистема моделирования используется вместо объектов реального мира.

На этапе эксплуатации системы процедуры моделирования выполняются параллельно функциям мониторинга и управления процессом, что позволяет системе выполнять следующие функции:

- верификацию показаний датчиков во время исполнения приложения;
- подстановку модельных значений переменных при невозможности получения реальных.

Для описания внешнего воздействия подсистема моделирования использует уравнения трех видов: алгебраические, разностные и дифференциальные (первого порядка). Целесообразно выделять три типа переменных, которые могут получать свои значения от подсистемы моделирования: непрерывные, дискретные и зависимые. Значения двух первых типов переменных являются функциями их предыдущих значений, вследствие чего для них должны быть заданы некоторые начальные значения. С другой стороны, значения зависимых переменных являются функциями только текущих значений других вычисляемых переменных. Эта категория переменных явно не объявляется; их значения получают из уравнений моделирования для соответствующей переменной.

Система генерирует графическую среду проектирования моделей процессов, объектно-ориентированную подсистему имитации для функционирования моделей и создает инструментарий для установки и измерения временных, точностных и других показателей эффективности процессов.

Система автоматически «оживляет» разработанную модель, облегчая визуализацию исполнения любых процессов. При этом обеспечивается автоматическая фиксация метрик анализируемых процессов. Это позволяет проводить эксперименты с различными организационными и техническими структурами, сравнивая их по временным, точностным и количественным характеристикам. Кроме того, используется широкий спектр средств для проведения факторного анализа, с помощью которого достаточно быстро можно определить, как добавление ресурсов в ключевых точках процесса повлияет на его исполнение.

В оболочке ЭС ОРИ знания могут быть представлены в виде:

- декларативных знаний о структуре объекта, формализуемых сетью фреймов;
- продукционных знаний и порядке взаимодействия компонентов оболочки ЭС, формализуемых наборами правил;
- процедурных знаний о схемах вычислений, формализуемых программами и формулами (теориями расчета).

Подсистема логического вывода содержит основное решающее устройство системы – машину дедуктивного вывода. Данная машина, используя базу знаний, формирует такую последовательность правил, которые, будучи примененными к исходным данным, приводят к решению задачи. Адаптивная машина создает и пополняет БЗ на основе данных, поступающих от пользователя или внешней среды. Функционирование этой машины основано на применении абдуктивного метода модификации посылок. Адаптивная машина логического вывода реализует автоматическую модификацию посылок БЗ на основании некоторого множества заключений, поступающего от пользователя или внешней среды через подсистему интеллектуального интерфейса. Структура адаптивной машины представлена на рис. 3. Адаптивная машина логического вывода состоит из блоков, реализующих преобразование на базе следующих методов: определения выводимости (блок классификации заключений и блок проверочного вывода); добавления посылок (блок добавления посылок); удаления посылок (блок удаления посылок). Для обеспечения совместной работы всех блоков и реализации алгоритма абдуктивного метода модификации посылок служит блок управления и контроля.

Блок классификации заключений служит для разделения множества входных заключений на классы в соответствии с требованиями выводимости и реальной выводимостью заключений из множества исходных посылок. Блок добавления посылок получает на вход множество исходных посылок (из БЗ системы) и множество заключений из определенного класса (в этот класс входят заключения, которые на текущем шаге не выводятся, однако требуется, чтобы они выводились). На выход данного блока поступают семейства множеств (для каждого заключения – свое семейство) таких посылок, при добавлении которых во множество исходных посылок требования выводимости для данных заключений удовлетворяются. На вход блока удаления посылок поступают множество исходных посылок и заключения (заключения, которые на текущем шаге выводятся, но требуется обеспечить их невыводимость из исходных посылок). Выходом блока

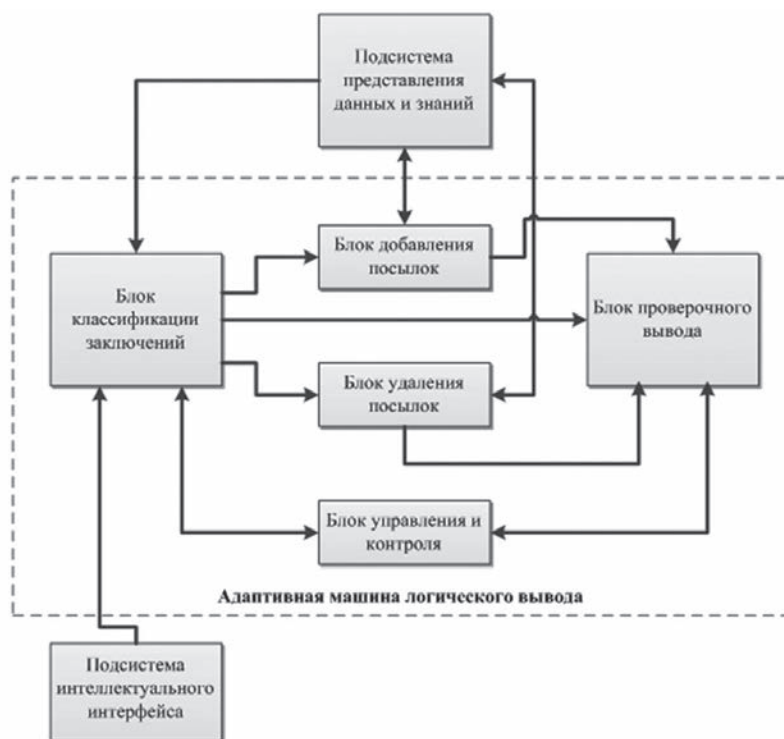


Рис. 3. Структура адаптивной машины

являются семейства множеств посылок (для каждого заключения – свое семейство), при удалении которых из множества исходных посылок обеспечивается невыводимость соответствующих заключений.

Блок проверочного вывода позволяет определить, имеются ли конфликты требований выводимости для двух пар классов. Такие конфликты могут возникать, во-первых, когда блок добавления посылок предлагает такое множество посылок, при объединении которого с множеством исходных посылок нарушаются требования выводимости заключений, а, во-вторых, когда для обеспечения требований выводимости заключений удаляются посылки, которые служили для выводимости заключений класса.

Блок управления и контроля предназначен для синхронизации работы всех блоков адаптивной машины, управления потоками данных, реализации основного цикла метода модификации посылок, проверки на наличие заключений в классах. Еще одна функция данного блока – выявление и разрешение ситуаций заикливания посредством применения безусловной модификации через блок добавления или блок удаления посылок.

При работе с внешней системой оболочка ЭС вызывает внешнюю систему имитационного моделирования для работы в качестве подсистемы, так что другие компоненты оболочки ЭС, такие, как, например, механизм вывода и интерфейс конечного пользователя, рассматривают его как единственный сервер данных. Механизм вывода может устанавливать значения во внешней

системе моделирования так же, как он устанавливает значения в собственной подсистеме моделирования.

БЗ для оболочки ЭС, включаемая в контур проектирования корабельных комплексов, строится на основе методов формализации темпоральных рассуждений, позволяющих формализовать проводимые в условиях жесткого дефицита времени немонотонные рассуждения о свойствах изменяющейся внешней среды.

Целью обработки знаний о понятийных компонентах в БЗ является формирование ответов на запросы пользователей, следующих двух видов:

- запросы, ответы на которые требуют спецификации характеристик сущностей;
- запросы, ответы на которые требуют вычисления отношений на множестве сущностей.

К *первому виду запросов* относятся запросы о значениях различных характеристик объектов и событий. Формирование ответов на запросы данного вида реализуется с помощью специализированной процедуры спецификации (VAL-процедуры) путем выполнения поиска значений тех или иных слотов во фреймах-экземплярах БЗ [1].

Ко *второму виду запросов* относятся запросы о сравнении событий, о связях между событиями и об анализе событий. Такие запросы предполагают вычисление различных отношений на множестве событий, а также на множестве их субъектов.

Для описания планов решения целевых задач, группирующихся в те или иные семейства, используются единые

совокупности подзадач, которые совместно с целевыми задачами организуются таким образом, что любая целевая задача будет решена в том случае, если будут решены соответствующие ей подзадачи. То есть любая целевая задача семейства, в конечном счете, будет решена в том случае, если она сводима к элементарным подзадачам. Такой подход в сочетании с возможностями преобразования планов решения одних подзадач в планы решения других, однотипных, позволяет достаточно эффективно решать вопросы представления и обработки знаний о проблемных компонентах в БЗ.

Основной целью обработки знаний о проблемных компонентах в БЗ является, помимо автоматической выдачи общей информации о той или иной задаче, формирование ответов на запросы пользователей, требующих синтеза планов действий для решения тех или иных задач (т. е. формирования упорядоченных совокупностей событий, обеспечивающих эти решения). Формирование ответов на запросы данного вида осуществляется посредством вывода на знаниях, реализуемого путем выполнения задач редуцированных правил, определяемых с помощью экземпляров фреймов:

$$P \rightarrow P_1, P_2, \dots, P_n$$

где P – задача; P_1, P_2, \dots, P_n – упорядоченная совокупность подзадач, к решению которых сводится решение задачи P ; \rightarrow – символ редукции.

Преобразования планов решения подзадач (если это предусмотрено БЗ) в ходе редуцирования реализуются путем выполнения трансформационных правил.

Характеристикой оболочки ЭС в БЗ являются знания, которые представляют собой множество утверждений о свойствах ситуаций действительности. Если знания предметной области могут быть представлены вербально в виде множества пар <термин, значение термина>, то будем говорить, что знания структурированы [2]. В противном случае знания не структурированы и представляются множеством утверждений на некотором логическом языке.

Существуют предметные области, в которых вербально представлена только часть знаний. Если знания в БЗ (или их часть) структурированы, то свойством предметной области является онтология знаний, определяющая понятия, используемые при вербальном представлении знаний, и онтологические соглашения, задающие ограничения на множества значений этих терминов. Для предметных областей, знания которых не структурированы, онтология знаний пуста, а все законы представляются с использованием терминов онтологии действительности, состоящей из описаний терминов и онтологических

соглашений, задающих ограничения целостности действительности.

Оболочка ЭС ОРИ включает в себя:

- естественно-языковой текстовый редактор, управляемый процедурой грамматического разбора;
- интерфейс с пользователем;
- средства инспекции и отладки;
- систему регистрации версий.

Разработчик представляет информацию о разрабатываемом приложении на ограниченном естественном языке (ЕЯ), и ему предоставлена возможность ссылаться на любую сущность в БЗ многими способами [3]. Разработчик может использовать конструкции ЕЯ для того, чтобы сослаться на сущность следующими способами:

- по имени – этим способом обеспечивается ссылка на группу сущностей, что дает возможность записывать общие утверждения;
- как на одну из сущностей класса объектов, связанных с другим объектом;
- как на объект, ближайший на графической модели к некоторому объекту.

Несмотря на сложность синтаксических конструкций для описания знаний, их применение упрощается за счет естественно-языкового подхода. Упрощение взаимодействия разработчика с системой достигается и за счет оригинального подхода, реализованного в текстовом редакторе.

В системе разработана распределенная обработка приложения на принципах архитектуры клиент – сервер. Клиентская часть обеспечивает множественный доступ к централизованной БЗ и групповую работу с приложением. Взаимодействие между системой и клиентской частью организовано следующим способом: процесс выполняется на той же машине, что и система, а пользователь получает к ней доступ через терминал; клиентская часть выполняется на рабочей станции пользователя. Более подробно это описано в [4].

Подсистема обмена информацией работает параллельно с прикладной системой как независимый обработчик событий и обеспечивает ее двустороннее взаимодействие с широким спектром программируемых контроллеров, системой сбора данных, концентраторов данных и развитых СУБД (рис. 4). Библиотека позволяет легко интегрировать приложение в существующие системы управления. При отсутствии в библиотеке интерфейса к некоему уникальному контроллеру разработчику не составит особого труда запрограммировать его по предоставляемому шаблону и подключить к системе.

С точки зрения современной концепции разработки открытых систем в оболочке ЭС предлагается более гибкая и надежная трехзвенная схема ор-

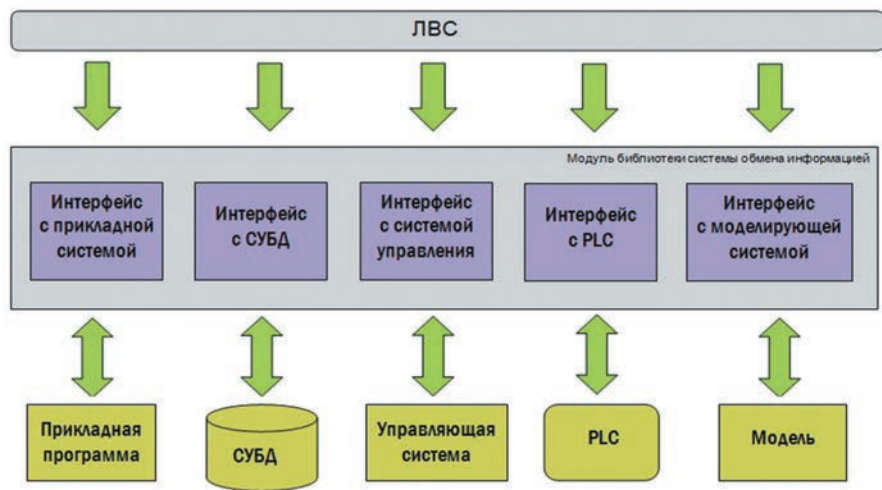


Рис. 4. Структурная схема обмена информацией

ганизации взаимодействия клиентской и серверной частей приложения, используя подсистему обмена информацией в качестве монитора транзакций.

В модели данных объект определяется как идентифицируемый набор информации. Объект может иметь атрибуты и быть связан с другими объектами. Описательные объекты содержат описательные атрибуты, не содержащие какой-либо геометрии (т.е. информации о форме и местоположении сущности реального мира). Описательный объект определяется отношениями с одной или более пространственно-определенных объектов. Такой объект может существовать без пространственно-определенного объекта, но каждый пространственно-определенный объект должен быть связан с описательным объектом. Пространственные объекты могут иметь описательные атрибуты и должны содержать геометрию. Пространственно-определенные объекты реализованы в виде узлов, ребер и граней.

Модель ограничена применением цепочно-узловой топологии, предполагающей наличие узлов и ребер. Каждое ребро должно ссылаться на связанный узел в начале и конце ребра (это может быть один и тот же узел). Пространственно-определенные объекты могут дополнять друг друга. Точечное представление кодируется как узлы (изолированные или связанные), линейное представление – как связанные серии ребер. Площадное представление кодируется как замкнутые петли ребер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная оболочка ЭС ОРИ разработана как открытая система. Связь с внешними источниками данных построена на основе библиотеки стандартных интерфейсов и сервера.

Предложенный механизм работы ЭС ОРИ позволяет разработчику на основании текущего состояния рабочей памяти определить, какой модуль системы необходимо использовать. Встраивание опре-

деленных функций в механизм вывода повышает эффективность работы системы, но ограничивает степень воздействия на процесс ее функционирования.

Разработчик при необходимости может реализовать в оболочке ЭС ОРИ дополнительный функционал, который предоставит конечному пользователю разнообразные возможности.

Архитектурная концепция, описанная в данной статье, положена в основу разработки прототипа оболочки экспертной системы, включенной в контур проектирования изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коржавин Г.А., Васильевский А.С., Ланшин К.В. Инструмент активной логики в задачах разработки экспертных систем жесткого реального времени. – Сб. «Научная сессия ГУАП». – 2-я ч. – СПб.: ГУАП, 2009, с. 7–15.
2. Никольцев В.А., Васильевский А.С. Методология построения экспертных систем реального времени в контуре управления движением судна. – Мат-лы семинара «Динамические экспертные системы в управлении и моделировании». – М., 1996, с. 35–46.
3. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 318 с.
4. Форсайт Р. Экспертные системы. Принципы работы и примеры. – М.: Радио и связь, 1987. – 20 с.
5. Васильевский А.С., Ямщиков Ю.А. Методология формирования бесконфликтного информационного пространства в интеллектуальных сетях//Корабельные и бортовые многоканальные информационно-управляющие системы: Науч.-техн. сб. – СПб.: Концерн «Гранит-Электрон», 2019. – Вып. 32. – С. 167–175.
6. Васильевский А.С., Никольцев В.А., Ямщиков Ю.А. Концепция проектирования архитектуры радиолокационной информации//Корабельные и бортовые многоканальные информационно-управляющие системы: Науч.-техн. сб. – СПб.: Концерн «Гранит-Электрон», 2020. – Вып. 33. – С. 45–57. ■

Стремительный рост числа радиоизлучающих средств в системах морской радиосвязи, которые работают в общем частотном диапазоне, ставит достаточно остро проблему электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС), входящих в систему. Кроме того, использование в системах морской радиосвязи многоэлементных приемных и передающих антенн делает решение задач ЭМС РЭС чрезвычайно сложным, так как при этом в несколько раз возрастает их размерность. Обычно проблема ЭМС РЭС в системах морской радиосвязи решается путем анализа выполнения критериев ЭМС в различных ситуациях и при разном сочетании полезных и мешающих сигналов [1]. Однако для многоэлементных антенн оценка по таким критериям становится достаточно трудной. Зачастую сами критерии ЭМС являются избыточными и могут создавать неоправданные ограничения развитию систем морской радиосвязи.

Цель статьи – разработка аналитического метода анализа ЭМС в системах морской радиосвязи с многоэлементными системами, основанного на модельном описании параметров сигналов и помех в форме векторных марковских процессов, представляемых многомерными стохастическими дифференциальными уравнениями (СДУ), а также получение алгоритмов адаптации многоэлементных антенн для выполнения критериев обеспечения ЭМС.

1. Постановка задачи. Будем исследовать систему морской радиосвязи, состоящую из наземного узла связи (УС) и N морских станций, находящихся на судах в море, причем на УС и каждой из станций имеются i -элементные антенны ($i = 0, 1, 2, \dots, N, i = 0$ – соответствует параметрам сигналов на выходе антенных элементов i -элементной антенны УС, $i = 1, 2, \dots, N$ – параметрам сигналов на выходе антенных элементов i -й морской станции). Примерами таких систем являются системы морской КВ радиосвязи с удаленным центром.

Пусть на вход каждой антенны поступает полезный сигнал и несколько сигналов от других РЭС, являющихся источниками взаимных помех. Предположим, что в случае воздействия только полезного сигнала (отсутствия взаимных помех) рассматриваемые РЭС и система морской радиосвязи в целом выполняют свои функции с требуемым качеством (назовем это случаем изолированного поведения РЭС). При воздействии взаимных помех условия функционирования отдельных РЭС и в целом системы радиосвязи могут нарушаться.

Критерий эффективности функционирования системы морской радиосвязи запишем следующим образом:

$$\sum_{i=0}^N \beta_i \max_{t \in [0, T]} \left| \overset{\vee}{F}_i(t) - F_i(t) \right| \rightarrow \max_{\omega} \quad (1)$$

где $\beta_i > 0$ – некоторые коэффициенты (они, в частности, могут характеризовать приоритеты отдельных РЭС); $T < \infty$; $\overset{\vee}{F}_i(t)$ – оператор, описывающий параметры полезного сигнала в апертуре антенны в случае изолированного поведения РЭС; $F_i(t)$ – оператор, описывающий параметры полезного сигнала, когда кроме него на вход антенны воздействуют и взаимные помехи; ω – оператор управления диаграммой направленности многоэлементной антенны.

В случае, когда $\overset{\vee}{F}_i(t)$, $F_i(t)$ представляют собой энергетические параметры сигналов и помех, критерий (1) тождествен известен известным критериям ЭМС [1].

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В СИСТЕМАХ МОРСКОЙ РАДИОСВЯЗИ С МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМИ АНТЕННАМИ

Е.И. Глушанков, д-р техн. наук, проф. Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Е.А. Рылов, ген. директор АО «ПКБ «РИО», Д.А. Цветков, бакалавр Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, glushankov57@gmail.com, rylov79@mail.ru, mitya.tsvetkov.1@mail.ru

2. Модельное описание сигналов и помех. Будем считать, что модель сигнала от i -го ($i = 0, N$) источника на входе L_i -элементной ($j = 0, N$) антенны описывается векторным процессом, заданным следующим СДУ:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = F_i[X_i(t)] + G_i[X_i(t)]V_i(t) + \sum_{k=0 \neq i}^N A_{ik}(t)X_k(t), \quad (2)$$

где $X_i(t)$ – $2L_i$ -мерный вектор параметров i -го сигнала; $X_i(t)$ – действительный вектор, образуемый из синфазных и квадратурных составляющих сигналов на выходе антенных элементов многоэлементной антенны; $F_i[X_i(t)]$ и $G_i[X_i(t)]$ – $2L_i$ -мерный векторный и $(2L_i \times 2L_i)$ -мерный матричный коэффициенты СДУ, $V_i(t)$ – $2L_i$ -мерный вектор центрированных белых шумов единичной интенсивности, $A_{ik}(t)$ – $(2L_i \times 2L_i)$ -мерная матрица взаимных связей при решении задач ЭМС (при $A_{ik}(t) = 0$ сигнал от k -го источника не попадает в апертуру рассматриваемой i -й антенны). Определение коэффициентов СДУ (2) описано в [2, 3] и далее не рассматривается.

При анализе стационарного режима многоэлементной антенны и оценке критериев ЭМС, в том числе типа (1), представляет интерес определение элементов корреляционных матриц (КМ) сигналов и помех на выходе антенны, которые характеризуют основные параметры (число, мощности, углы прихода, широкополосность сигналов и помех) [4]. Введем $4L_i$ -мерный вектор элементов КМ процесса $X_i(t)$ в виде $R_{x_i}^T = [r_{11i}, r_{12i}, \dots, r_{2L_i \times 2L_i}]$, где r_{mni} – (m, n)-й элемент КМ.

В корреляционном приближении для вектора R_{x_i} можно записать следующее линейное дифференциальное уравнение (ЛДУ) [5]:

$$\frac{dR_{x_i}}{dt} = B_i R_{x_i} + \sum_{k=0 \neq i}^N B_{ik} R_{x_k}, \quad (3)$$

где $B_i = \text{diag}(B_{\text{Бли}}) - 4L_j^2 \times 4L_j^2$ -мерная блочно-диагональная матрица, блоками которой являются $(2L_j \times 2L_j)$ -мерные матрицы:

$$B_{\text{Бли}} = \begin{pmatrix} \left\langle \frac{\partial K_{1i}}{\partial x_{1i}} \right\rangle & \left\langle \frac{\partial K_{1i}}{\partial x_{2i}} \right\rangle & \dots & \left\langle \frac{\partial K_{1i}}{\partial x_{2L_{ji}}} \right\rangle \\ \left\langle \frac{\partial K_{2i}}{\partial x_{1i}} \right\rangle & \left\langle \frac{\partial K_{2i}}{\partial x_{2i}} \right\rangle & \dots & \left\langle \frac{\partial K_{2i}}{\partial x_{2L_{ji}}} \right\rangle \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \left\langle \frac{\partial K_{2L_{ji}}}{\partial x_{1i}} \right\rangle & \left\langle \frac{\partial K_{2L_{ji}}}{\partial x_{2i}} \right\rangle & \dots & \left\langle \frac{\partial K_{2L_{ji}}}{\partial x_{2L_{ji}}} \right\rangle \end{pmatrix}.$$

Здесь K_{ki} ($k = \overline{1, 2L_j}$) – кинетические коэффициенты случайного процесса, процедура определения которых по коэффициентам СДУ (2) представлена в [6]; $B_{ik} = \text{diag}\{A_{ik}(t)\} - 4L_i^2 \times 4L_j^2$ – мерная блочно-диагональная матрица).

3. Вычисление вектора весовых коэффициентов и оценка ЭМС. ЛДУ (3) позволяет оценивать изменение КМ сигнала в нестационарных ситуациях сигнально-помеховой обстановки, которые характерны для решения задач ЭМС.

Для удобства анализа перейдем от ЛДУ к линейному разностному уравнению (ЛРУ) следующим образом:

$$\frac{\Delta R_{x_i}}{\Delta t} = B_i R_{x_i} + \sum_{k=0 \neq i}^N B_{ik} R_{x_k}$$

или

$$\frac{R_{x_i}(n+1) - R_{x_i}(n)}{\Delta t} = B_i(n) R_{x_i}(n) + \sum_{k=0 \neq i}^N B_{ik}(n) R_{x_k}(n),$$

тогда получим ЛРУ в виде

$$R_{x_i}(n+1) = [I + \Delta t B_i(n)] R_{x_i}(n) + \sum_{k=0 \neq i}^N B_{ik}(n) R_{x_k}(n), \quad (4)$$

где I – единичная матрица; Δt – интервал дискретизации, выбираемый по теореме Котельникова; n – интервал времени $t = n\Delta t$.

Обозначим $\overline{B}_i(n) = I + \Delta t B_i(n)$ и получим из (4) окончательное выражение для вычисления КМ:

$$R_{x_i}(n+1) = \overline{B}_i(n) R_{x_i}(n) + \sum_{k=0 \neq i}^N B_{ik}(n) R_{x_k}(n). \quad (5)$$

Тогда общий алгоритм вычисления вектора весовых коэффициентов (ВВК) многоэлементной адаптивной антенны может быть реализован в виде следующей процедуры:

$$W_i(n) = \left[\sum_{k=1 \neq i}^N R_{xx_k}(n) \right]^{-1} R_{x_i}(n), \quad (6)$$

где R_{xx_k} – k -я $2L_i \times 2L_i$ -мерная КМ сигналов, которая определяется из элементов вектора R_i , расположенных в виде матрицы

$$R_{xx_k} = \begin{pmatrix} r_{11i} & r_{12i} & \dots & r_{12L_i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{2L_i, 1} & r_{2L_i, 2} & \dots & r_{2L_i, 2L_i} \end{pmatrix},$$

R_{x_i} – $2L_i$ -мерный вектор из корней диагональных элементов матрицы R_{xx_k} характеризующих направление перехода i -го сигнала, который считаем полезным. Алгоритм вычисления ВВК (6), в котором матрицы $R_{xx_k}(n)$ и $R_{x_i}(n)$ находят из (5), позволяет осуществлять адаптивную обработку сигналов в нестационарных ситуациях, что и характерно для задач ЭМС.

Критерий ЭМС (1) в этом случае можно переписать в виде

$$\sum_{i=0}^N \beta_i \max \left\{ W^T R_i W - W^T \sum_{k=0 \neq i}^N R_k W \right\} \rightarrow \min_W. \quad (7)$$

Проанализируем полученные результаты.

На рис. 1 представлены зависимости мощности помехи на выходе адаптивной антенны от $\eta_{\text{пер}i}$ и $\eta_{\text{пер}j}$, где $\eta_{\text{пер}i}$ и $\eta_{\text{пер}j}$ – коэффициенты помехозащиты за счет управле-

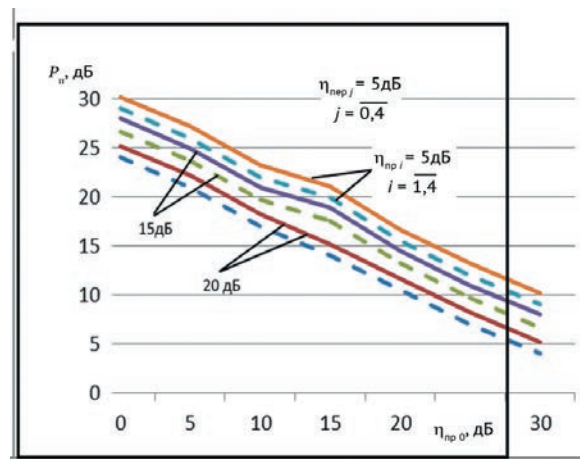


Рис. 1. Зависимости мощности помехи на выходе адаптивной антенны от $\eta_{\text{пер}i}$ и $\eta_{\text{пер}j}$

ния диаграммами направленности соответственно передающей адаптивной антенны i -го корреспондента и приемной антенны j -го корреспондента (коэффициент помехозащиты характеризует увеличение отношения сигнал–(помеха+шум) на выходе устройства адаптивной обработки сигналов в адаптивной антенне по сравнению с входом) при использовании построенных по (5) КМ (сплошные кривые) и по исходным значениям КМ (штриховые кривые). Видно, что, во-первых метод анализа ЭМС на основе (7) имеет высокую точность, а во-вторых, адаптация антенной решетки УС дает гораздо больший эффект по сравнению с адаптацией антенн морских станций КВ радиосвязи.

Представленные в статье результаты позволяют оценивать ЭМС в морских системах и сетях радиосвязи и обеспечивать требования по ЭМС за счет адаптивного управления диаграммами направленности многоэлементных антенн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородич С.В. ЭМС наземных и космических радиослужб: Критерии, условия и расчет. – М.: Радио и связь, 1990. – 272 с.
2. Глушанков Е.И., Конторович В.Я. Математическое моделирование сигналов различной пространственной когерентности в системах радиосвязи. – В кн.: Адаптивные радиотехнические системы с антенными решетками. – Л.: Изд. ЛГУ, 1991, с. 432–466.
3. Глушанков Е.И., Конторович В.Я., Савищенко Н.В. Цифровое моделирование векторных негауссовских случайных процессов, описывающих параметры сигналов и помех в непрерывных каналах // Изв. вузов: Радиоэлектроника. – 1995. – Т.38. – № 3-4. – С. 69–74.
4. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию. – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.
5. Глушанков Е.И., Конторович В.Я. Анализ ЭМС в системах радиосвязи с пространственно-временной обработкой сигналов. – В сб.: «Пространственно-временная обработка сигналов в системах радиосвязи»: Приложение к журналу «Радиотехника», 1991, с. 80–85.
6. Малахов А.Н. Кумулянтный анализ случайных негауссовых процессов и их преобразований. – М.: Сов. радио, 1978. – 376 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

Задачам оптимального управления движением объектов техники посвящены работы [1–6] и др. Оптимальное управление колебаниями упругих систем изложено в работах [11–16]. С использованием процедуры конструирования управлений найден широкий класс косо-симметричных управлений (ускорений), которые обеспечивают за минимально возможное время перемещение упругого объекта техники из исходного в конечное состояние абсолютного покоя с допущением колебаний только во временном интервале движения.

Цель исследования – динамика сложного оптимального движения упругого объекта при заданной траектории перемещения основания (по окружности, в горизонтальной плоскости). На рис. 1 изображено произвольное положение упругого осциллятора, который перемещается по окружности.

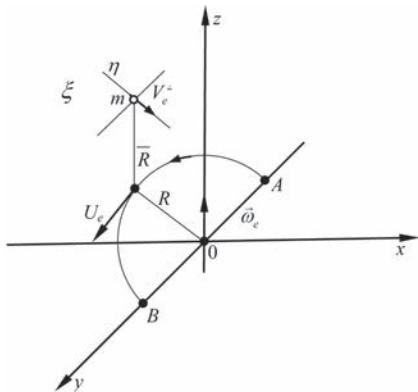


Рис. 1. Схема движения упругого объекта

В примененной процедуре реализации оптимального управления критерий не задается заранее, но оптимальность конструирования (при достижении цели движения как необходимого условия) предполагает минимум восстановленного функционала-критерия.

В случае упругого объекта время движения находят как один из общих корней системы трансцендентных уравнений (моментных состояний – равенства нулю перемещения и скорости в конце движения). Энергоемкость управлений оценивается сравнением результатов, полученных реверсионным и вариационным методами.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСНОГО ДВИЖЕНИЯ В ВИДЕ КАСАТЕЛЬНОГО УСКОРЕНИЯ

Пример 1. Длина дуги окружности как функция времени задана полиномом

$$Se(t) = \sum_{i=1}^4 C_i t^{i+1}, \quad (1)$$

где $C_i = \text{const}$.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ УПРУГОГО ОБЪЕКТА ПО ОКРУЖНОСТИ

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

Севастопольский государственный университет,

Т.В. Мозолевская, *канд. техн. наук, доцент, проф.*

ЧВВМУ им. П.С. Нахимова, Севастополь,

контакт. тел. +7 (978) 739 3968, +7 (978) 739 3966

Касательная скорость и тангенциальное ускорение (управление) вычисляются как производные от (1):

$$Ve(t) = \dot{Se}(t), \quad Ue(t) = \dot{Ve}(t). \quad (2)$$

При определении констант используются краевые условия и условия косой симметрии управления:

$$Se(T) = 0, \quad \dot{Se}(T) = 0; \quad (3)$$

$$\dot{Ue}(T/2) = 0; \quad Ue(0) + Ue(T) = 0.$$

Условия (3) формально отличаются от использованных в работе [14] при реализации алгоритма конструирования переносного оптимального движения, но приводят к аналогичному результату. Функционал-критерий оптимальности, как и ранее, принимает вид

$$J = \int_0^T [\dot{Ue}(t)]^2 dt,$$

и для него уравнение Эйлера

$$\frac{d^6 Se(t)}{dt^6} = 0.$$

Как показано в [15, 18], найденные управления (по сравнению с традиционным) с критерием оптимальности в виде нормы мощности

$$J = \int_0^T [U(t)]^2 dt$$

обеспечивают существенную экономию энергии.

Ускорение (тангенциальное), скорость и перемещение описываются аналитическими зависимостями:

$$Ue(t) = \frac{10L}{T^5}(T-2t)^3,$$

$$Ve(t) = \frac{10Lt}{T^5}(T-t)(2t^2 - 2tT + T^2), \quad (4)$$

$$Se(t) = \frac{Lt^2}{T^5}(5T^3 - 10tT^2 + 10t^2T - 4t^3).$$

Графики функций (4) изображены на рис. 2.

Относительное движение (колебание в тангенциальном направлении) без учета линейно-вязкого сопротивления описывается линейным неоднородным уравнением

$$\frac{d^2 \xi}{dt^2} + k^2 \xi = -\frac{a(T-2t)^3}{T^3}, \quad (5)$$

где $a = 10L/T^2$. При $k = 2\pi/T_1$, $T_1 = T/n$, здесь T_1 – период собственных колебаний объекта.

После решения уравнения (1) и преобразований следуют моментные соотношения (равенства нулю перемещения и скорости в относительном движении), представляющие собой систему трансцендентных уравнений:

$$\begin{aligned} \xi T = & -\sin(2\pi n)\pi^2 n^2 + 6\sin(2\pi n) + \\ & + \cos(2\pi n)\pi^3 n^3 - 6\cos(2\pi n)\pi n + \\ & + \pi^3 n^3 - 6\pi n = 0, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \dot{\xi} T = & 3\cos(2\pi n)\pi^2 n^2 - 6\cos(2\pi n) + \\ & + \sin(2\pi n)\pi^3 n^3 - 6\sin(2\pi n)\pi n - \\ & - 3\pi^2 n^2 = 0. \end{aligned}$$

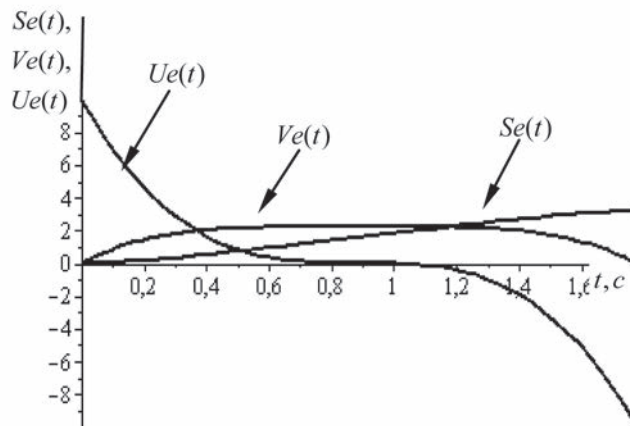


Рис. 2. Графики ускорения, скорости и перемещения при переносном движении объекта по дуге окружности

Один из общих корней системы (6) найден графически (рис. 3): $n = 2,3692$. При $T_1 = 0,75$ с время движения равно $T = T_1 \cdot n = 1,777$ с. Частота собственных колебаний $k = 2\pi/T_1 = 8,378$ с⁻¹.

Графики $\xi(t)$ и $\dot{\xi}(t)$ приведены на рис. 4. Итак, сочетание относительного и переносного покоя обеспечивает абсолютный покой упругого объекта в момент времени $t = T$.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СИЛЫ ИНЕРЦИИ

Радиальная сила инерции вычисляется как $\frac{-mVe^2(t)}{R}$. При найденном виде функции скорости переносного движения $Ve(t)$ решение уравнения относительного движения в радиальном направлении достаточно громоздко и связано с известными трудностями преобразования.

Поиск решения уравнения осуществляется при замене функции $Ve(t)$ приближенной функцией в виде параболы

$$Ve^*(t) = \frac{5Lt}{T^2} \left(1 - \frac{t}{T}\right).$$

Графики, подтверждающие близость функций $Ve(t)$ и $Ve^*(t)$, приведены на рис. 5.

Для такого радиального переносного ускорения $-\frac{[Ve^*(t)]^2}{R}$ наблюдаются некоторые погрешности относительного покоя при достижении конечного состояния (рис. 6).

Естественно, что при использовании точного решения такая погрешность не имеет места. Максимальное перемещение в радиальном направлении $\eta_{\max} = 0,017$ м, а скорость $|\dot{\eta}_{\max}| = 0,11$ м/с.

Важно, что при $t = T$ перемещение и скорость близки к нулю, т. е. и при учете центробежной силы инерции фактически достигается переносный и относительный покой.

Конструирование оптимального управления переносного движения в виде гармонической функции

Пример 2. Оптимальное переносное кососимметричное тангенциальное ускорение, обоснованное с позиции реверсионного принципа оптимальности [14], принято в виде

$$Ue(t) = \frac{Lp^2}{2\pi} \sin pt, \quad (7)$$

где L – длина половины окружности ($L = \pi R$), $p = \frac{2\pi}{T}$, где T – общее время движения.

Из (7) в результате интегрирования с учетом краевых условий следуют выражения для переносной скорости и длины дуги:

$$\begin{aligned} Ve(t) &= \frac{Lp}{2\pi} (1 - \cos pt), \\ Se(t) &= \frac{L}{2\pi} (pt - \sin pt). \end{aligned} \quad (8)$$

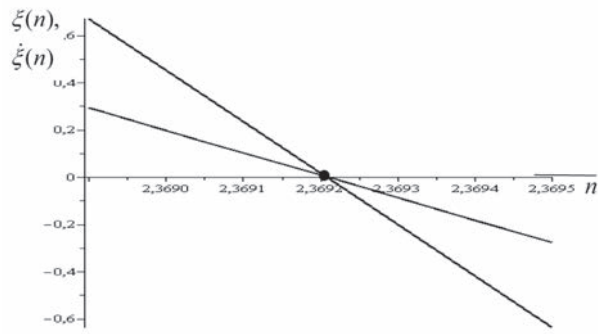


Рис. 3. Графический поиск одного общего корня

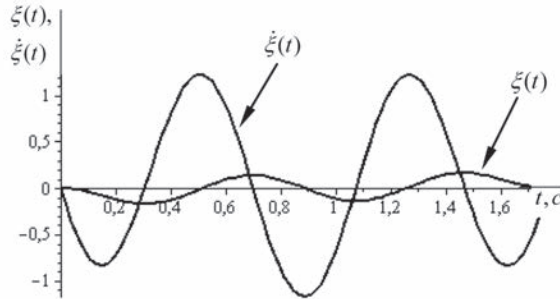


Рис. 4. Графики относительного перемещения и скорости

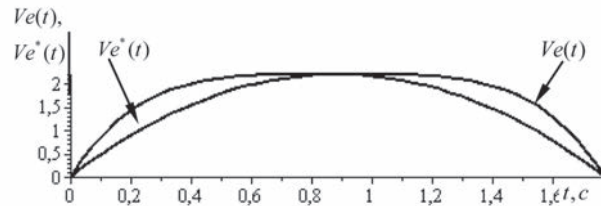


Рис. 5. Графики переносной скорости $Ve(t)$ и $Ve^*(t)$

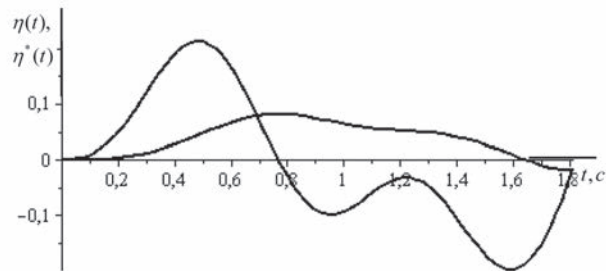


Рис. 6. Графики относительного перемещения и скорости в радиальном направлении

При $T = 3$ с и $R = 1$ м графики перемещения, скорости и ускорения в переносном движении изображены на рис. 7.

В конце движения с отключением управления наблюдается переносный покой ($Se(T) = 0$, $Ve(T) = 0$).

В тангенциальном направлении относительное движение (упругие колебания) описывается уравнением

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} + k^2\xi = -\frac{Lp^2}{2\pi} \sin pt,$$

решение которого имеет следующий вид:

$$\xi(t) = \frac{Lp^2}{2\pi(k^2 - p^2)} \cdot \left(\frac{p}{k} \sin kt - \sin pt\right). \quad (9)$$

Здесь моментные соотношения $\xi(T) = 0$, $\dot{\xi}(T) = 0$ преобразуются к наиболее простой системе трансцендентных уравнений

$$\sin(4\pi T) = 0, \quad \cos(4\pi T - 1) = 0, \quad (10)$$

одним из общих корней которой является $T = 3$ с. При $k = 4\pi$ для найденного времени движения графики относительного движения (колебаний в тангенциальном направлении) изображены на рис. 8.

Графики подтверждают наступление относительного покоя, а в сочетании с переносным покоем достигается абсолютный покой.

Относительные колебания сосредоточенной массы в радиальном направлении, которые обусловлены центробежной силой инерции, описываются уравнением

$$\frac{d^2\eta}{dt^2} + k_1^2\eta = \left[\frac{Lp}{2\pi} (1 - \cos pt)\right]^2 / R, \quad (11)$$

где k_1 – частота собственных колебаний объекта в радиальном направлении.

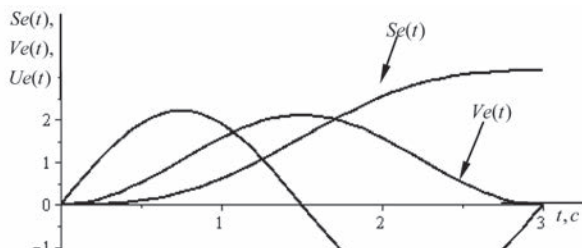


Рис. 7. Графики $Se(t)$, $Ve(t)$, $Ue(t)$ при гармоническом ускорении (управлении)

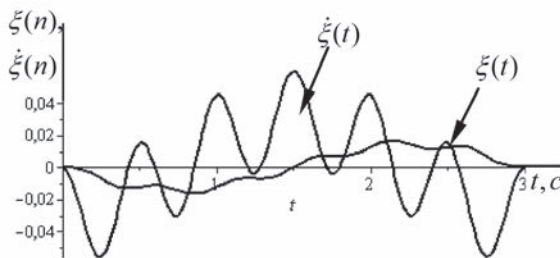
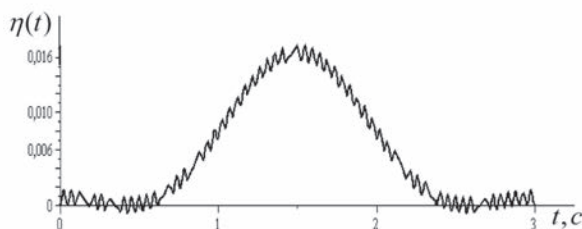


Рис. 8. Графики относительного перемещения и скорости в тангенциальном направлении

Решение и при нулевых начальных условиях громоздко, и поэтому здесь не приводится. Для принятых исходных данных, которые использованы в переносном оптимальном движении ($L = \pi R$, $R = 1$ м, $p = \pi/T$, $T = 3$ с), из моментных соотношений $\xi(T) = 0$, $\dot{\xi}(T) = 0$ следует ряд значений корней k_1 , при которых одновременно выполняются моментные соотношения. Чем жестче стержень в направлении оси η , тем выше частота колебаний k_1 . Далее принят общий корень $k_1 = 131,95 \approx 132$ с⁻¹, при котором графики $\eta(t)$ и $\dot{\eta}(t)$ имеют вид, изображенный на рис. 9, а, б.

а)



б)

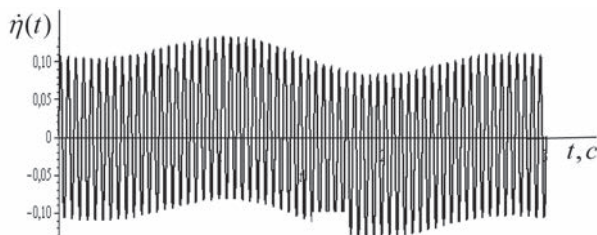


Рис. 9. Графики относительного перемещения и скорости в радиальном направлении: а — $\eta(t)$ — перемещение; б — $\dot{\eta}(t)$ — скорость

В исследованиях не учтено некоторое влияние сил инерции Кориолиса, для которых ускорения соответственно равны: $2\omega_e \dot{\eta}$, $2\omega_e \dot{\xi}$. В связи с усложнением правой части в уравнении относительного движения иллюстрация до-

стижения абсолютного покоя при учете сил инерции Кориолиса возможна, например, с использованием численного решения уравнения движения.

ВЫВОДЫ

1. На приведенных примерах показано, что при заданном оптимальном кососимметричном управлении по касательной к траектории, учете центробежных сил инерции в радиальном направлении и движении основания упругого объекта по окружности обеспечивается достижение абсолютного покоя в конечном положении.

2. Полученные результаты могут найти применение, например, при оптимальном управлении движением объектов с элементами конечной жесткости. Предполагается уменьшение упругих колебаний упругих элементов объекта

при быстрых поступательном и вращательном движениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронов А.А. Теория автоматического управления. ч. II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления. — М.: Высш. школа, 1977. — 288 с.
2. Петров Ю.П. Обеспечение достоверности и надежности компьютерных расчетов. — СПб.: БХВ — Петербург, 2008. — 160 с.
3. Портнягин, Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. — М.: Физматиз, 1961. — 392 с.
4. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. — М.: Машиностроение, 1985. — 536 с.
5. Теория автоматического управления/Под ред. А.В. Негушила. — М.: Высш. школа, 1972. — Т2. — 432 с.
6. Абдулаев Н.Д., Петров Ю.П. Теория и методы проектирования оптимальных регуляторов. — Л.: Энергоатомиздат, 1985. — 240 с.
7. Черноусько Ф.Л., Акуленко Л.Д., Соколов Б.Н. Управление колебаниями. — М.: Наука, 1980. — 387 с.
8. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления/Пер. с англ. Б.И. Копылова. — М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. — 832 с.
9. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: линейные модели. — М.: Наука, 1987. — 304 с.
10. Карновский И.А., Почман Ю.М. Методы оптимального управления колебаниями деформируемых систем — Киев: Высш. школа, 1982. — 416 с.
11. Черноусько Ф.Л., Акуленко Л.Д., Соколов Б.Н. Управление колебаниями. — М.: Наука, 1980. — 384 с.
12. Бохоносский А.И., Варминская Н.И., Мозолевский М.И. Оптимальное управление переносным движением деформируемых объектов: теория и технические приложения/Под общ. ред. А.И. Бохоносского. — Севастополь: Изд-во Севастопольского НТУ, 2007. — 296 с.
13. Бохоносский А.И., Варминская Н.И. Вариационное и реверсионное исчисление в механике: монография. — Севастополь: Изд. Севастопольский НТУ, 2007. — 296 с.
14. Bokhonsky A. I./Бохоносский А.И. Актуальные задачи вариационного исчисления. — Palmarium Academic Publishing, Deutschland/Германия, 2013. — 77 р.
15. Бохоносский А.И. Реверсионный принцип оптимальности: Монография. — М.: Вузов. учебник. ИНФРА. — М., 2016. — 174 с.
16. Bokhonsky A. I. Modeling and analysis of elastic systems in motion. — Gliwice: Wydawnictwo Politechniki, 2011. — 171 р.
17. Бохоносский А.И., Рыжков А.И. Конструирование управляемого движения объекта. — Мат-лы Международ. науч.-практ. конф. — Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. — № 1. — С. 64–69.
18. Бохоносский А.И. Энергоёмкость управления перемещением объектов. — Мат-лы Международ. науч.-практ. конф. — Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. — № 2. — С. 38–41. ■

В современных условиях действий на море значительно возрастает сложность учета командирами всех уровней управления множества факторов, влияющих на качество принимаемых ими решений. Искусства командира, его опыта и интуиции при наличии неопределенности развития ситуации, а также большого количества противоречивых фактов, проверка достоверности которых затруднительна, быстро меняющейся тактической обстановки, скоротечности морского боя, большого информационного потока, требующего быстрого анализа и обработки, не всегда достаточно для достижения поставленных целей.

Для выработки гарантированно качественного, обоснованного решения разрабатываются и используются на практике управления силами методики принятия решения, позволяющие обосновать рациональную последовательность интеллектуальных действий командира, использование информационного и математического обеспечения, технических средств поддержки принятия решения [1].

Данные методики основаны на возможности формализации значительной части творческого, интеллектуально-информационного процесса принятия решения, подтвержденного практикой.

Анализ существующих методик показывает, что процесс принятия решения имеет так называемую древовидную структуру. Основой для «древовидной» структуры является последовательность этапов методики принятия решения:

- получение боевого распоряжения на выполнение боевой задачи;
- уяснение поставленной боевой задачи;
- оценка обстановки;
- расчет времени;
- выработка замысла;
- разработка основ развертывания (свертывания), взаимодействия, обороны, обеспечения и управления;
- оформление графической части решения командира корабля на карте и формирование пояснительной записки к ней.

Дальнейшая декомпозиция указанных действий на отдельные процессы

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ИСБУ С АРХИТЕКТУРОЙ, ОСНОВАННОЙ НА ПРИНЦИПЕ СВОБОДНО АГРЕГИРУЕМЫХ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ

*С.Н. Смелков, вед. инженер-программист,
А.Н. Зайцев, канд. воен. наук, вед. инженер-программист,
АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 1352*

имеет более сложную структуру, включающую циклические последовательности и параллельное выполнение процессов более низкого уровня. Это обусловлено тем, что принятие решения рассматривается не как простая сумма формальных мероприятий, выполняемых командиром и штабом, а как интеллектуально-информационный творческий процесс, основанный на глубоких знаниях основ военной науки и практики командования. Поэтому формирование общего алгоритма вычислительного и информационного процесса требует использования метода сетевого планирования [2, 3].

В то же время не все процессы управления подлежат автоматизации, так как в их основе лежит творческое начало лица, принимающего решение.

Учету указанных выше факторов в технологии создания программного обеспечения интегрированной системы боевого управления (ИСБУ) с использованием метода свободно агрегируемых программных модулей посвящена данная статья.

По степени требования к автоматизации процессы управления можно разделить на следующие категории:

- не требующие автоматизации: процессы, которые полностью выполняет оператор автоматизированного рабочего места (АРМ) системы;
- полностью автоматизированные: процессы, которые выполняются в ИСБУ полностью автоматически в соответствии с заложенными алгоритмами;

– требующие частичной автоматизации: процессы, у которых на более низких уровнях существуют как полностью автоматизированные подпроцессы, так и подпроцессы, требующие вмешательства оператора АРМ. Примером таких процессов может быть альтернативный выбор следующих подпроцессов оператором, а также ввод дополнительных данных, получаемых «ручным» способом или в результате интеллектуальной работы самого оператора.

Классифицированные таким образом процессы дерева процессов получают соответствующие метки, как, например, на схеме декомпозиции процессов управления (рис. 1), соответствующей схеме декомпозиции задач, показанной в [4].

Реально нижний уровень подпроцесса для каждой ветви дерева процессов, в отличие от обобщенной схемы декомпозиции процессов, является уникальным, т. е. различные ветви дерева процессов имеют свой нижний уровень подпроцессов.

Каждый нижний уровень подпроцессов обеспечивается своим набором ресурсов, состоящим из определенного набора свободно агрегируемых программных модулей (САПМ) и/или определенных действий оператора АРМ.

САПМ являются компонентами программного обеспечения ИСБУ и представляют собой реализацию «элементарных функций» системы. Элементарных – по причине невозможности

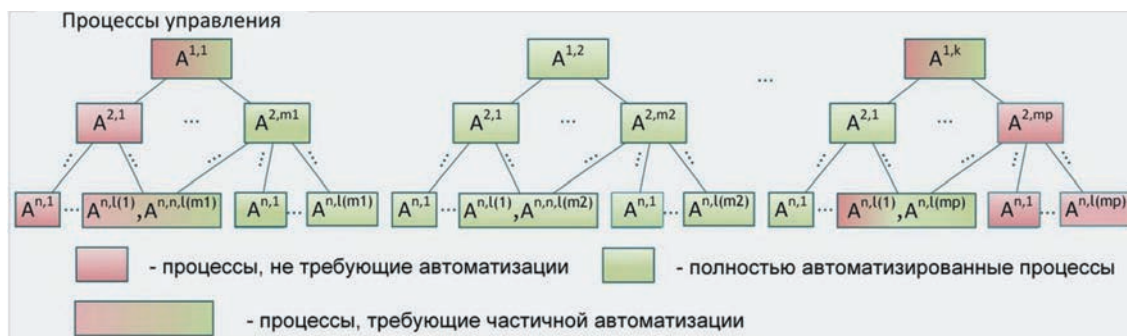


Рис. 1. Схема декомпозиции процессов управления с учетом степени их автоматизации

дальнейшего деления или отсутствия необходимости деления в рамках рассматриваемого процесса управления [5].

САПМ агрегируют в так называемые системные алгоритмы [6] – алгоритмы функционирования системы, реализующие процессы управления, адаптированные к организационной структуре, свойствам и назначению объекта автоматизации и основанные на предоставляемых системой свободно агрегируемых программных модулях обработки информации и управления.

САМП в системном алгоритме имеют свою специализацию, свой функционал, как указано ниже [7]:

- модули выполнения типовых функций обработки информации и управления;
- модули контроля выполнения системных алгоритмов, предназначенные для контроля времени выполнения системного алгоритма в целом и каждого САПМ в отдельности; визуализации выполнения системного алгоритма; оповещения операторов АРМ о нарушениях выполнения алгоритма, прекращении его выполнения или необходимости его восстановления;
- модули инициализации и управления ходом выполнения системных алгоритмов, являющиеся основными управляющими модулями, предназначенными непосредственно для управления вычислительным процессом в системе. Для каждого системного алгоритма должен быть запущен отдельный модуль инициализации и управления;
- модули отображения и ввода данных, предназначенные для обеспечения интерфейса оператора;
- модули формирования документов, предназначенные для формирования, отображения и вывода на печать текстовых, схемо-графических или картографических документов.

Таким образом, имея структуру процессов управления в виде схемы декомпозиции с учетом степени их автоматизации, набор управляющих воздействий оператора АРМ и набор САПМ можно сформировать структуру программного обеспечения ИСБУ на основе метода свободно агрегируемых модулей. В [4] уже было показано, каким образом формируются САПМ на принципах стандартизации программного кода и межмодульного обмена данными на основе стандартизированной шины данных.

Обобщенная структурная схема программного обеспечения ИСБУ на основе метода свободно агрегируемых модулей показана на рис. 2.

Многовариантность выполнения процесса управления, возможность распараллеливания его между операторами АРМ в соответствии с их должностными

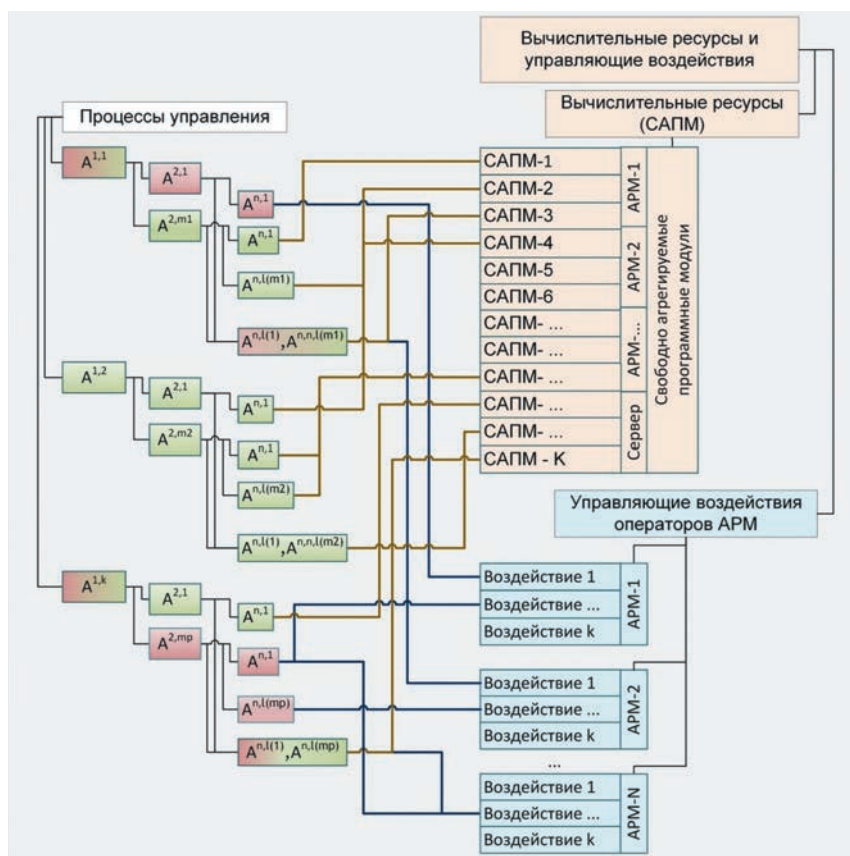


Рис. 2. Обобщенная структурная схема программного обеспечения ИСБУ на основе метода свободно агрегируемых модулей

и функциональными обязанностями, необходимость синхронизации совместных действий определяют сложность построения системных алгоритмов и целесообразность автоматизации их разработки, управления и контроля выполнения. В этих целях в НПФ «Меридиан» при разработке прототипа компонентов программного обеспечения ИСБУ был создан специальный программный комплекс поддержки функционирования системных алгоритмов.

С помощью программы «Редактор системных алгоритмов», входящей в состав этого комплекса, с использованием информационной технологии графического описания процессов управления создается системный алгоритм в виде сетевого графика, отражающего алгоритм процесса управления. Созданный в редакторе системный алгоритм сохраняется в «Базе данных системных алгоритмов» для дальнейшего использования или оперативной корректировки.

Таким образом, методом декомпозиции процесса управления силами при формировании и разработке свободно агрегируемых программных модулей синтезируются оптимальные для назначенной цели управления вычислительные и информационные процессы в виде системных алгоритмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев И. В., Геков В. В., Доценко С. М. и др. Современные проблемы управления силами ВМФ: Теория и практика. Состо-

яние и перспективы / Под ред. В. И. Куроедова. – СПб.: Политехника, 2006. – 432 с.

2. Зайцев А. Н. Особенности постановки задачи на моделирование процессов в ИСБУ // Морская радиоэлектроника. – 2020. – № 2. – С. 37–40.

3. Зайцев А. Н. Формирование математической модели процессов в ИСБУ // Морская радиоэлектроника. – 2020. – № 3. – С. 38–40.

4. Смелков С. Н., Зайцев А. Н. Новая архитектура программного обеспечения ИСБУ на принципе свободно агрегируемых модулей // Морская радиоэлектроника. – 2021. – № 3.

5. Волкова В. Н., Денисов А. А. Основы теории систем и системного анализа: Учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Системный анализ и управление». – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. – 512 с.

6. Смелков С. Н. Применение системных алгоритмов в автоматизированной системе управления КП соединения НК. – Сб. ст. и докл. военно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Строительство ВМФ, управление силами, информационные технологии, перспективы, проблемы, пути решения», Петродворец, Санкт-Петербург: 24 ЦНИИ МО РФ, 2009.

7. Смелков С. Н. Информационная технология графического описания процессов управления в корабельных автоматизированных системах управления. – Состояние, проблемы и перспективы разработки корабельных информационно-управляющих комплексов: Сб. докл. науч.-техн. конф. – М.: АО «Концерн «Моринсис-Агат», 2018. – С. 55–61. ■

Мощь каждого государства, претендующего на роль морской мировой державы, опирается на современный, технически оснащенный, сбалансированный флот. Вместе с тем боеспособный, оснащенный по последнему слову техники ВМФ не только обеспечивает безопасность национальных, международных торговых морских коммуникаций и защиту морских рубежей государства, но и является его визитной карточкой, свидетельствующей об уровне экономического и военного потенциала страны.

Не была исключением и Российская империя. В годы Первой мировой войны морские силы России включали (корабли основного класса): 18 линкоров, 15 крейсеров, 84 эсминца, 28 миноносцев. В постройке находились: 4 линкора, 4 линейных крейсера, 8 крейсеров, 34 эсминца, 13 подводных лодок [1].

В результате Первой мировой, Гражданской войны и интервенции бывших стран-союзниц отечественный флот понес колоссальный урон. Были потоплены и уведены за границу 416 единиц флота (боевых кораблей, вспомогательных и гражданских судов) [2]. Только в Бизерту были выведены линкор, броненосец, крейсер, 10 миноносцев, 4 подводные лодки, 4 тральщика, плавучая мастерская и другие вспомогательные суда. Общая стоимость кораблей и боевого имущества, в том числе и боеприпасов, составляла 80 миллионов золотых рублей в довоенном исчислении [3].

Трагически сложилась и судьба линейных крейсеров, находившихся в постройке: «Измаила» (головной), «Бородино», «Наварин» и «Кинбурн». Их постройка велась на Балтийском и Адмиралтейском судостроительных заводах Морского ведомства в Петербурге в соответствии с законом «Об усиленном судостроении в ближайшее пятилетие 1912–1916 г.», утвержденном 23 июля 1912 г., в рамках так называемой Малой судостроительной программы. Предъявление кораблей к испытаниям намечалось на вторую половину 1916 г. На момент закладки этих кораблей – официальная церемония головного состоялась 6 декабря 1912 г. – эти крейсера были самыми мощными по вооружению в своем классе [4] и одновременно в числе крупнейших кораблей мира, о чем свидетельствуют отдельные ТТХ линейных крейсеров типа «Из-

ТРАГЕДИЯ ЛИНЕЙНЫХ КРЕЙСЕРОВ РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ

В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф, заслуженный деятель науки РФ, науч. руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
С.В. Федулов, д-р истор. наук, доцент
 Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского,
Д.А. Косаренко, начальник учебной части – зам. начальника кафедры Общевоинской подготовки ВУЦ СПбГУ,
 контакт. тел. (812) 452 4865

майл», а именно: водоизмещение – 32 500 т (полное), длина – 223,85 м, ширина – 30,5 м, осадка – 8,81 м.

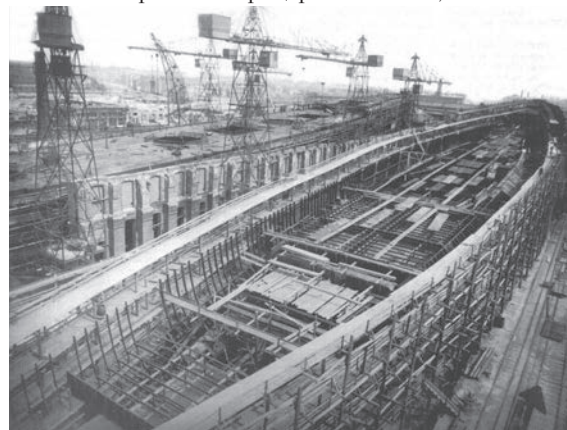
Бронирование: 237 мм – главный броневой пояс, 125 мм – оконечности, 75–100 мм – верхний пояс между средней и верхней палубами, 100 мм – траверзы, 200–300 мм – башни, рубка: 250 мм (крыша), 300 мм (основание), 400 мм (выше средней палубы).

Двигатели – 7 котлов. Мощность – 66 000 л.с. (полная), 70 000 л.с. (наибольшая). Скорость хода – полная 26,5 уз и наибольшая 27,5 уз.

Вооружение: артиллерия – 12×356-мм орудий, 24×30-мм, 4×47-мм; зенитная артиллерия – 4×63-мм; минно-торпедное вооружение – 6×456-мм торпедных аппарата.

Экипаж – 1645 человек [5].

Размещение экипажа было традиционным для крупных кораблей того времени: офицерские каюты, кают-компания



Корпуса линейных крейсеров «Наварин» и «Бородино» на стелеях Адмиралтейского завода на Галерном острове

и санузлы планировалось расположить в кормовой части средней и нижней палуб, каюты кондукторов – посередине средней палубы, командные помещения – в носу на средней и нижней палубах и под полубаком (спальные места на рундуках и подвесных койках). Предусматривались три камбуза, механизированные хлебопекарня и прачечная, командная и кочегарная бани, ванны для офицеров, два лазарета с операционной и рентгеновским аппаратом и т.д. [6].

Показательным для кораблей данного типа было артиллерийское вооружение, особенно орудия главного калибра – 76 356-мм корабельных и береговых орудий. При этом 48 из них предназначались для линейных крейсеров типа «Измаил», 12 должны были составлять запас для этих кораблей, 18 предназначались для береговой артиллерии и 4 – для полигонных установок. В конце 1911 г. заказ на орудия был распределен таким образом, что 40 орудий должен был изготовить казенный Обуховский завод, а 36 – частное «Русское акционерное общество артиллерийских заводов» (РОАЗ), взявшееся за строительство в Царицыне при технической помощи английской фирмы «Виккерс» нового артиллерийского завода (в советское время завод «Баррикады»). До ввода в эксплуатацию строящегося завода РОАЗ было разрешено делегировать часть заказа (на 24 орудия) непосредственно фирме «Виккерс».



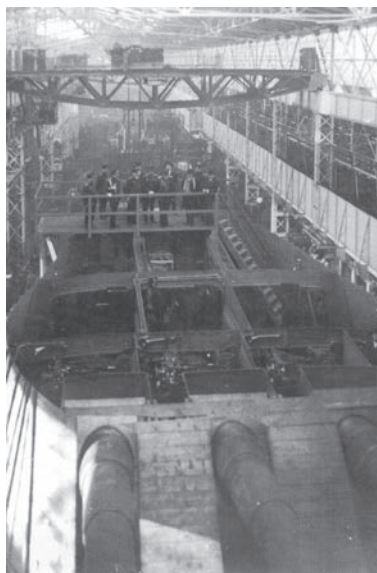
Адмирал Ю. Григорович на церемонии закладки линейного крейсера «Измаил»



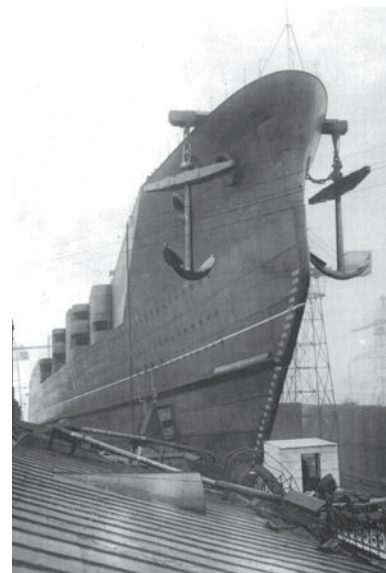
Закладная доска линейного крейсера «Измаил»



Линейный крейсер «Измаил» перед спуском на воду



В башенной мастерской Металлического завода трехорудийная 356-мм башня главного калибра



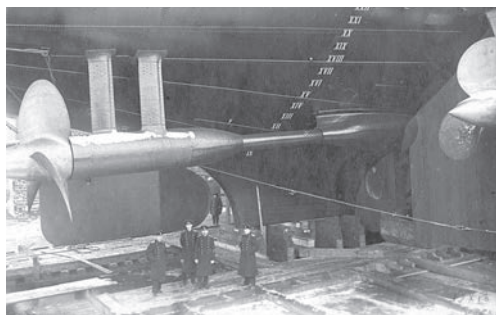
Линейный крейсер «Бородино» перед спуском на воду

Вследствие загруженности Обуховского завода изготовлением 305-мм орудий первые 5 качающихся частей 356-мм орудий были изготовлены (как и все последующие) именно фирмой «Виккерс». Эта партия была доставлена в Россию из Англии осенью 1916 г., вторая (также из 5 орудий) – в мае 1917 г., а еще 6 готовых орудий на запланированных к отправке осенью того же года находилась в Англии (так и не были поставлены).

В России одно из доставленных 356-мм орудий (зав. №1463) поступило на полигонные испытания (начатые в 1917 г. на специальном полигонном станке, изготовленном Металлическим заводом), а остальные хранились в Петрограде [7]. Царицынский завод так ни одного орудия для линейных крейсеров типа «Измаил» не изготовил.

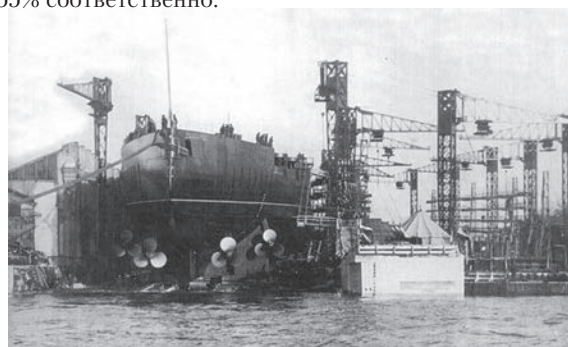
Спуск линейных крейсеров «Измаил», «Бородино» и «Кинбурн» на воду состоялся соответственно 9 июля, 19 июля и 17 октября 1915 г., а линейного крейсера «Наварин» – 27 октября 1916 г. Однако складывающаяся в стране тяжелая экономическая и политическая обстановка, задержки с поставками материалов и оборудования и, в первую очередь, оружия и энергетики не позволили даже достроить головной крейсер. Не последнюю роль в этом сыграло и размещение заказов на предприятиях Германии и Австро-Венгрии, часть которых (например, шарикоподшипники и 203-мм стальные шары под основания вращающихся частей орудийных башен) в России не изготовлялись. Таким образом, башни для «Измаила» могли быть готовы только к концу 1919 г., а для остальных кораблей – в 1920 г. Поэтому 11 октября 1917 г. Временное правительство приостановило постройку трех крейсеров. В отношении «Измаила» аналогичное решение приняла 1 декабря 1917 г. уже Верховная морская коллегия [8].

При этом следует отметить, что изготовление механизмов, котлов и брони продолжалось. Степень готовности «Измаи-



Линейный крейсер «Кинбурн»

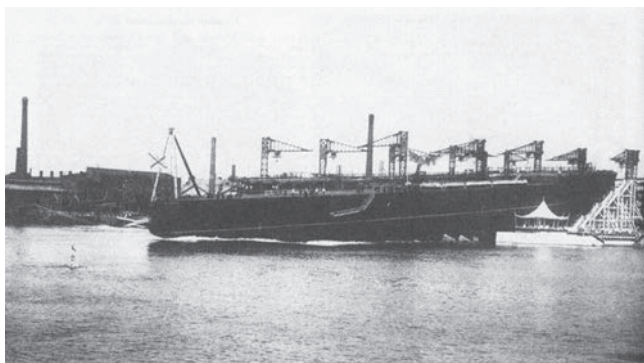
ла», «Бородино», «Кинбурна» и «Наварина» на середину апреля 1917 г. соответственно составляла: по корпусу, системам и устройствам – 65, 57, 52 и 50%; бронированию – 36, 13, 5 и 2%; механизмам – 66, 40, 22 и 26,5%; котлам – 66, 38,4, 7,2 и 12,55% соответственно.



Линейный крейсер «Кинбурн» перед спуском на воду, октябрь 1915 г.

Вместе с тем в 1917 г. Съезд работников судостроительных заводов, постановивший продолжать постройку линейного крейсера «Измаил» хотя бы ради обеспечения заработка, выразил пожелание переделать остальные корабли этого типа в коммерческие суда. В эскизных проработках намечались два варианта переоборудования: в грузовые (или нефтеналивные) пароходы грузоподъемностью по 16 000 т и в нефтяные баржи (22 000 т). Предполагалось убрать все установленное бронирование и выгородки платформы на протяжении двойного дна, перепланировать внутренние отсеки, образовав пять грузовых трюмов, а вместо турбин установить две паровые машины индикаторной мощностью по 5000 л.с., сохранив четыре котла в первом отделении, что могло обеспечить эксплуатационную скорость 15 уз. Однако созданная для рассмотрения этого вопроса комиссия дала отрицательное заключение, мотивировав в основном тем, что такие суда будут трудно управляемыми из-за чрезмерно большой длины. Существовал также проект переделки крейсеров в товаропассажирские пароходы [9].

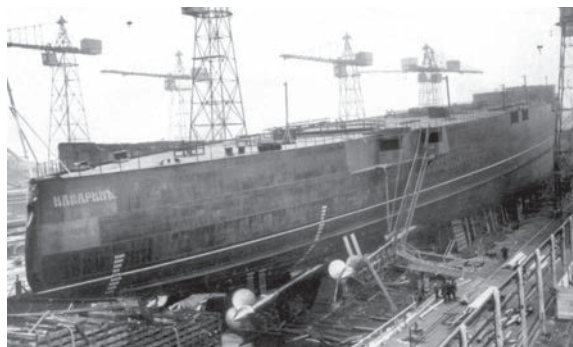
В 1918 г. линейные крейсера перевели на долговременное хранение, причем с «Наварина» даже не сняли спусковое устройство, хотя в первой половине этого года вопрос о достройке «Измаила» вновь стоял на повестке дня. Спустя три года о линейных крейсерах вспомнили снова. Очевидно, что вначале следовало возродить судостроительную промышленность. Для решения этой задачи Центральная комиссия по восстановлению военной промышленности 20 октября 1921 г.



Линейный крейсер «Измаил» сходит со стапеля

образовала специальную Морскую подкомиссию под председательством командующего Морскими силами Республики А.В. Немитца. В программе работ подкомиссии говорилось, что «вопрос о восстановлении и подъеме военно-морской промышленности на «западную» высоту и на основе ее – создание той морской силы, которое государство признает нужным для себя иметь, – есть вопрос прежде всего о военно-морских заводах» [10].

Однако сделать это на тот период не представлялось возможным, в первую очередь, вследствие плачевного состояния самих военно-морских заводов, как, впрочем, и всей отечественной промышленности. Гражданская война и интервенция бывших стран-союзниц по Первой мировой войне нанесли колоссальный ущерб экономике нашей страны. В результате отделения Финляндии, Латвии, Эстонии судостроительная база Советской России лишилась: Сандвинской верфи в Гельсингфорсе, верфи «Крейтон и К^о» в Або; Русско-Балтийского завода, Ревельского завода «Беккер и К^о» и Петровской верфи в Ревеле, Мюльграбенской верфи в Риге. Южные заводы сильно пострадали в результате интервенции и Гражданской войны [11]. На 14 мая 1919 г. в распоряжении Морского ведомства находились следующие заводы: Балтийский (Петроград), Адмиралтейский (Петроград), Обуховский (Петроград), Ижорский (Колпино), Радиотелеграфный (Петроград) [12], которые стали основой советского судостроения.



Линейный крейсер «Наварин»

В годы Гражданской войны на долю этих предприятий выпали тяжелые испытания. Они выполняли заказы на изготовление боевого снаряжения для РККА и РККФ, а именно:

- Радиотелеграфный завод – радиостанции различных типов, приемники, волномеры, детекторы, телефоны и пр. [13];
- Обуховский сталелитейный завод – артиллерийские орудия от 130-мм до 37-мм, станки для орудий, снаряды, переборка и ремонт мин Уайтхеда (торпед), панорамы для прицелов, прокатная сталь, чугунное литье, а также производство тракторов, плугов; ремонт паровозов и вагонов [14];
- Ижорский – снаряды различных калибров, гильзы для артиллерийских снарядов, а также совместно с Путиловским заводам производство танков [15];
- Адмиралтейский судостроительный завод – постройка барж, буксирных пароходов, бронирование гражданских судов,

производство противоминных бонов и сетей заграждения, долговременное хранение находящихся в постройке линейных крейсеров «Бородино», «Наварин», а также других кораблей, прибывших с Ревельского завода (все они были заложены в соответствии с довоенной программой военного кораблестроения), ремонт гидрографических судов и пр. [16];

- Балтийский судостроительный и механический завод – постройка барж, теплоходов; сохранение недостроенных по довоенной судостроительной программе линейных крейсеров «Измаил» и «Кинбурн», а также 4 миноносцев; ремонт 10 подводных лодок, 4 миноносцев и кораблей других классов, ремонт паровозов, железнодорожных вагонов, автомобилей, изготовление сельскохозяйственных орудий [17];

В апреле 1919 г. из 12 400 000 рублей, полученных Морской Коллегией для восстановления боевого снаряжения на заводах Морского ведомства, 10 775 000 рублей были распределены следующим образом: Балтийскому заводу – 2 485 000 рублей, Ижорскому – 5 330 000 рублей, Обуховскому – 2 960 000 рублей [18], чего было явно недостаточно. Только Балтийскому заводу на оборудование производства, ремонт кораблей и народно-хозяйственной техники требовалось 42 977 464 рубля [19].

Крайне недостаточное обеспечение топливом, сырьем, заготовками, большое количество посторонних заказов было характерно для всех предприятий. Так, Коллегия Адмиралтейского завода 28 сентября 1919 г. докладывала Морскому ведомству: «На заводе имеется 150 заказов, которые выполняются исключительно в порядке, указанном Морским комитетом. Количество заданной работы значительно превосходит средства завода, а поэтому выполняются по мере сил и возможности» [20].

11 ноября 1921 г. состоялось заседание морской подкомиссии Революционного Военного Совета (РВС) Советской Республики по вопросу воссоздания военной промышленности. На нем же обсуждалась производственная судостроительная программа до 1926 г. [21]. Необходимо отметить, что в основу этой программы легла довоенная программа военного судостроения. Так, для постройки первых советских крейсеров использовались корпуса крейсеров типа «Светлана», заложенных в постройке в 1912–1913 гг. К началу 1921 г. на Петроградских заводах и в Кронштадте находились на плаву 11 недостроенных эсминцев, в том числе 6 кораблей, переведенных из Ревеля. Степень их готовности по корпусам составляла 90%. Кроме того, на Металлическом заводе хранились перевезенные из Риги части корпусов 4 миноносцев [22]. На этом же заседании РВС принял решение о ликвидации кораблей, находящихся на долговременном хранении, в достройке и ремонте. Количество ликвидируемых судов составляло 184 ед. из них 111 – на Балтике [23]. В соответствии с Постановлением Совета Труда и Обороны от 19 июля 1922 г. линейные крейсера «Бородино», «Кинбурн» и «Наварин» исключили из списков флота, а Постановлением Госплана в мае следующего года была разрешена их продажа за границу. 21 августа 1923 г. корабли приобрела «в целом виде» германская фирма «Альфред Кубац». 26 сентября 1923 г. в Петроград прибыли буксиры за «Кинбурном», а позднее – и за двумя остальными. Котлы, механизмы и другое корабельное оборудование использовалось в народном хозяйстве, частично при ремонте и модернизации оставшихся в строю боевых кораблей.

Как происходила разделка корпусов линейных крейсеров и что собой представляли эти корабли, повествовал выдающийся кораблестроитель, академик А.Н. Крылов. В своих воспоминаниях он отмечал, что завод, проводивший слом судов, купленных для обращения в лом металла, находился в Бремене. Суда были по преимуществу военные: английские, французские, русские «Громобой», «Россия» и линейные крейсера типа «Измаил». Директору завода был дан приказ сообщать Техническому комитету в Берлине обо всех случаях особенностей в конструкции судов.

Слом судов заводом производился без ввода в док. Разборка кораблей начиналась резкой с кормы наклонными слоями, судно постепенно садилось носом. После этого ему давали сесть по главную палубу, после чего срезали палубу и, сколько можно, носовой части и опять продолжали наклонно срезать с кормовой и средней частей, пока в носу оставалась часть весом меньше 150 т. Ее поднимали из воды и клали на берег. Все стадии этого процесса фотографировали, фиксировали поперечные разрезы корабля. Берлинское адмиралтейство не раз вызывало директора завода для объяснений, почему он ничего не сообщает. «Нет ничего особенного», – отвечал тот.

Наконец, начав сломку «Бородин», доведя ее до половины, так что получился полный косою разрез корабля, директор завода телеграфировал: «Теперь есть нечто совершенно особенное». В Бремен приехал весь Технический комитет германского флота, который велел директору завода от всех связей взять планки, испытать их механические качества и провести химический анализ; сделать фотографии в крупном масштабе, например, килевой балки, продольных стрингеров и пр. Технический комитет в течение почти 10 дней вел подробный осмотр линкора «Бородино» [24]. Так была решена судьба линейных крейсеров «Бородино», «Наварин» и «Кинбурн».



Буксировка линейного крейсера «Бородино» на разборку в Германию

Не лучшим образом сложилось положение с головным кораблем этой серии – линейным крейсером «Измаил». Выдвигалось несколько вариантов его достройки, в том числе переоборудования в авианосец. Этот проект возник в марте 1925 г. Предполагалось оснастить корабль мощным артиллерийским вооружением и авиагруппой в составе 12 торпедо-бомбовозов, 27 истребителей, 6 разведчиков, 5 артиллерийских отметчиков. Ориентировочное водоизмещение составляло 20 000–22 000 т. Проект был утвержден председателем Совета Народных Комиссаров А.И. Рыковым 6 июля 1925 г. [25]. Но и этот проект остался на бумаге, так как на тот момент в Наркомате по военным и морским делам бытовало абсурдное мнение, что авианосец не есть боевой корабль, а есть плавающий аэродром для авиации. В результате корабль так и оставался в недостроенном состоянии с непредсказуемой перспективой, пока осенью 1930 г. было принято решение о его разборке из-за отсутствия средств.

В 1931–1932 гг. корпус линейного крейсера «Измаил» был разобран трестом «Металлолом» [26].

Таким образом, достройка линейных крейсеров типа «Измаил» оказалась невозможна по следующим причинам: во-первых, из-за зависимости, в частности по артиллерийскому вооружению, от зарубежных поставщиков (Германии, Великобритании); во-вторых, вследствие состояния отечественной судостроительной промышленности, в котором она оказалась в результате Гражданской войны и интервенции бывших стран-союзниц. Судостроительные предприятия находились в состоянии разрухи, они лишились высококвалифицированных инженерно-технических и рабочих кадров, многих технологий, получали мизерное финансирование и снабжение. В-третьих, у руководства страны и флота отсутствовала четкая, продуманная программа восстановления и развития флота, военно-морская доктрина, соответствующая возмож-

ностям судостроительной промышленности. Это привело к тому, что в 20-е гг. система отечественного судостроения не соответствовала стандартам, принятым в экономически развитых мировых морских державах, которые имели:

- большой опыт в военном судостроении и хорошо подготовленные инженерные кадры;
- опыт быстрого проектирования, ясную, четко выбранную военно-морскую стратегию и тактику;
- отлично развитую судостроительную промышленность;
- возможность переоборудования и приспособления заводов для выполнения заказов;
- возможность своевременной заготовки материалов и стандартизации деталей⁴
- высокую производительность труда в отрасли;
- достаточное финансирование [27].

Всего этого система отечественного военного судостроения смогла достигнуть в конце 30-х гг. XX в., что позволило начать строительство линкоров типа «Советский Союз». Что же касается линейных крейсеров Российского императорского флота, то 24 марта 1938 г. во французском «Журнале коммерческого флота» вышла статья капитана Жака Фюсси «Состояние советского флота» [28]. В ней, в частности, отмечалось, что линейные крейсера 1912 г. типа «Кинбурн» (на самом деле «Измаил» – *Прим. авт.*), с их 32 000-тонным водоизмещением, 12 356-мм орудиями и 27-узловым ходом произвели революцию в области судостроения, но никогда не видели моря [29].

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский государственный архив Военно-Морского Флота (далее – РГАВМФ). Ф.Р-2041. Оп. 1. Д. 72. Л. 11.
2. Там же. Ф.Р-3. Оп. 1. Д. 1138. Л. 37.
3. Там же. Ф.Р-1877. Оп. 1. Д. 299. Л. 10-11.
4. Кузнецов Л.А. Почему не достроили линейные крейсера типа «Измаил». – <http://tsushima.su/RU/libru/ii/historyII/bibl-ww1-k-stat/kuznezov-izmail/> (дата обращения 14.11.2020)
5. Линейные крейсера типа «Измаил». – [Электронный ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 21.11.2020)
6. Виноградов С.Е «Измаил» – сверхдальнолет Российской империи. – [Электронный ресурс] <https://bookree.org/reader?file=623146&pg=38> (дата обращения 21.11.2020)
7. Ленский Г.А. Оружие Отечества. Годы, деньги, цены. – СПб., 2017, с. 61.
8. Линейные крейсера типа «Измаил». – [Электронный ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 21.11.2020)
9. Линейные крейсера типа «Измаил». А если бы достроили? – [Электронный ресурс] <https://maxpark.com/community/14/content/1515533> (дата обращения 21.11.2020)
10. Линейные крейсера типа «Измаил». – [Электронный ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 21.11.2020)
11. История Отечественного судостроения. – Т.3. – СПб.: Судостроение, 1996, с. 479.
12. РГА ВМФ. Ф.Р-1302. Оп. 1. Д. 45. Л. 95.
13. Там же. Д. 98. Л. 47.
14. Там же. Л. 43-44.
15. Там же. Л. 92. Л. 105.
16. Там же. Л. 21-23.
17. Там же. Д. 11. Л. 25-29.
18. Там же. Д. 45. Л. 77.
19. Там же. Д. 11. Л. 32.
20. Там же. Д. 51. Л. 1.
21. РГАВМФ. Ф.Р-26. Оп. 1. Д. 1. Л. 11.
22. История Отечественного судостроения. – Т.3. – СПб.: Судостроение, 1996, с. 492.
23. Там же, с. 486.
24. Крылов А.Н. Мои воспоминания. – Л.: Судостроение. – 1979, с. 291–292.
25. Линейные крейсера типа «Измаил». – [Электронный ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 18.11.2020).
26. Линейные крейсера типа Измаил. А если бы достроили? – [Электронный ресурс] <https://maxpark.com/community/14/content/1515533> (дата обращения 21.11.2020)
27. РГАВМФ. Ф.Р-360. Оп. 2. Д. 3. Л. 262.
28. Центральный государственный архив Санкт-Петербурга. (ЦГА СПб). Ф.Р. 1192. Оп. 21. Д. 45. Л. 1-3
29. Там же. Л. 2. ■

22 июня 2021 г. в ЦТСС состоялось совместное собрание Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Секции по судостроению Морского Совета при Правительстве Санкт-Петербурга. На собрании присутствовали директор или заместители директоров 30 предприятий – членов Ассоциации из 49, председатель КППИ К. А. Соловейчик, генеральный директор Союза промышленников и предпринимателей М. А. Лобин, президент Ассоциации промышленных предприятий СПб В. А. Радченко.

Председатель собрания – президент Ассоциации М. В. Александров.

1. О загрузке производственных мощностей судостроительных предприятий Санкт-Петербурга продукцией гражданского назначения сделал доклад К. А. Соловейчик. Он напомнил, что судостроение для Петербурга – одна из базовых отраслей и одна из самых больших по численности занятых. Как известно, 80% продукции транспортного машиностроения предназначено для судостроения. Оценивая загрузку предприятий этой отрасли гражданской продукцией, он отметил, что надо рассматривать два показателя: выпуск гражданских судов и выпуск судовых комплектующих, т.е. увеличение степени локализации. Практика подтверждает, что хорошо зарекомендовала себя модель экономических стимулов, разработанная и внедренная в автопроме.

2. О роли отраслевых научных центров в подготовке перспективных программ в области судостроения и кораблестроения рассказал научный руководитель Крыловского ГНЦ В. Н. Половинкин, который отметил, что у современного российского судостроения имеются серьезные проблемы, в том числе такие, как нехватка современных производственных мощностей и современных технологий, квалифицированных кадров. Как следствие, трудоемкость и стоимость

ИТОГИ СОВМЕСТНОГО СОБРАНИЯ АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И СЕКЦИИ ПО СУДОСТРОЕНИЮ МОРСКОГО СОВЕТА ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области, контакт. тел. (812) 786 1172



В.Н. Половинкин

продукции в отрасли в 3–5 раз выше, чем за рубежом, а продолжительность постройки судов в 2–2,5 раза больше.

Главную роль в развитии современного судостроительного производства в мире играет филогенез – создание новых технологий силами науки. Отечественному судостроению сегодня не хватает современных технологий и должной, научно-обоснованной поддержки государства.

Начальник отдела перспективного планирования и инноваций АО «Концерн НПО «Аврора» Г. В. Шаталов продолжил эту тему в своем докладе «О разработке перспективных программ в области судостроения и кораблестроения».

В обсуждении докладов приняли участие М. В. Александров, Л. Г. Грабовец, А. В. Кадилов, М. А. Лобин, В. А. Радченко.



Слева направо: К. А. Соловейчик, М. В. Александров, Л. Г. Грабовец

РЕШЕНИЯ собрания:

1. Доклад К. А. Соловейчика принять к сведению. Поручить генеральному директору ЦТСС М. В. Александрову создать рабочую группу с привлечением специалистов Минпромторга РФ и ОСК, а также ученых СПбГЭТУ «ЛЭТИ» для разработки аналога модели экономических стимулов в автопроме для судостроения. Считать целесообразным рассмотреть данный вопрос на заседании Морского совета при Правительстве Санкт-Петербурга.

2. Основные усилия отраслевой науки следует направить на выполнение мероприятий, заложенных в «Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2035 года». Первоочередными задачами отраслевых научных центров являются создание и внедрение:

- технологии создания морской техники для освоения углеродных ресурсов на шельфе (освоение шельфа);
- технологии судового машиностроения, судовых энергетических установок и систем (судовое машиностроение и энергетика);
- исследовательское проектирование и разработка концептуальных проектов перспективной морской техники;
- системные исследования развития морской техники и рынка в интересах локализации отечественного производства.

В качестве перспективных для судостроения следует рассматривать аддитивные технологии – методы синтеза объекта путем послойного наращивания с помощью компьютерных 3D-технологий.

Поручить исполнительной дирекции Ассоциации разослать настоящее решение всем его членам, участникам собрания, в ОСК и Минпромторг РФ. ■

22 июня 2021 г. на 67-м году жизни скончался Председатель Санкт-Петербургского Морского Собрания Николай Владимирович Орлов. Свыше двадцати пяти лет Николай Владимирович находился на этой должности, вел активную и плодотворную работу. Выходец из флотской среды, прошедший службу на Северном флоте на подводных лодках, Н. В. Орлов сплотил в Морском Собрании его постоянных членов и гостей.

При Николае Владимировиче Санкт-Петербургское Морское Собрание (СПб МС) стало неотъемлемой частью истории и современности Российского флота, организацией с богатой, насыщенной историей, с собственными традициями и законами, поставленными на службу Российскому государству и российскому воинству. В декабре 1994 г. контр-адмирал И. К. Шалатонов предложил Николаю Владимировичу, занимавшему пост помощника представителя Президента Российской Федерации по Ленинградской области, возглавить работу по воссозданию Морского Собрания в Санкт-Петербурге. Фактически с нулевой отметки Н. В. Орлов проделал сложную и трудоемкую работу, организовал инициативную группу, которая выработала Устав Собрания Санкт-Петербурга, созвала временный Совет Старшин, а затем Учредительную конференцию. 29 марта 1995 г. эта конференция приняла Устав СПб МС и 25 апреля того же года зарегистрировала его в Управлении юстиции Санкт-Петербурга.

Так началось возрождение СПб МС как регионального отделения Российского Морского Собрания. Само же Российское Морское Собрание де-юре получило статус в ноябре 1995 г. после выхода соответствующего указа Президента России. Первым Председателем Российского Морского Собрания стал контр-адмирал И. К. Шалатонов, первым Председателем Совета Старшин – Н. В. Орлов, почетным членом – адмирал В. П. Иванов.

Позже Николай Владимирович выступил с инициативой выхода из Российского Морского Собрания с целью образования самостоятельной организации и зарегистрировал СПб МС. 1 октября 1996 г. общественная организация «Санкт-Петербургское Морское Собрание» получила отде-

ПАМЯТИ Н.В. ОРЛОВА

*Санкт-Петербургское Морское Собрание,
контакт. тел. (812)312 5396*



льный статус и регистрационный номер № 970-юр. в Управлении юстиции Санкт-Петербурга. Его первым председателем единогласно был избран Н. В. Орлов. Он наладил связи между Морскими Собраниями других городов России и объединил их в единую Межрегиональную Ассоциацию, куда вошли Собрания из Вологды, Гатчины, Севастополя, Новороссийска, Петропавловска-Камчатского, Архангельска, Мурманска, Владивостока.

В числе дел СПб МС, совершенных по инициативе Н. В. Орлова, значатся такие, как доставление на Родину из Франции и перезахоронение праха последнего морского министра Императорской России адмирала И. К. Григоровича 26 июля 2005 г., спустя 75 лет после смерти адмирала, восстановление в Севастополе 59 мемориальных досок и передача Владимирскому Собору в Севастополе (усыпальнице русских адмиралов) пятнадцати килограммов золоченых букв, предназначенных для восстановления утраченных надписей на памятных досках, где выбиты имена героев – участников обороны Севастополя в ходе Крымской войны 1853–1856 гг.

Во многом благодаря энергичной и плодотворной деятельнос-

ти Н. В. Орлова СПб МС известно в российских городах и за рубежом. Действительными и почетными членами СПб МС являются Президент России В. В. Путин, председатель Геральдической комиссии при Президенте РФ Г. В. Вилинбахов (Государственный Эрмитаж), председатель Совета директоров ПАО «Газпром» А. Б. Миллер, генеральный директор ГМЗ «Царское Село» О. В. Таратынова, руководители научно-промышленного комплекса Морской порт Санкт-Петербурга и предприятий оборонно-промышленного комплекса, командующие военными округами и командующие флотами, действующие и отставные офицеры, директора судостроительных и судоремонтных заводов, различных предприятий и объединений Москвы, Санкт-Петербурга и других городов России, глава Республики Крым С. В. Аксёнов.

СПб МС и его постоянно действующий коллегиальный орган – Совет Старшин – проводят большую научно-издательскую деятельность. В течение четырех лет на средства Морского Собрания были изданы монографии «Гангутская баталия 1714 года», «Чесменская победа. Триумф России в Средиземном море», «Россия и Турция. Двенадцать невыученных уроков», «Морское сражение под Наварином. Причины и следствия», «Главный военно-морской парад России», литература для детей, посвящённая великим морским победам Русского флота.

В стенах Собрания регулярно проходили заседания Военно-исторической секции Дома Ученых РАН и «круглые столы», где с докладами по военной и военно-морской тематике, по различным проблемам внешней и морской политики России XVIII – начала XX в. выступали историки, ученые, директора федеральных архивов России, общественные деятели. Для членов и гостей Морского Собрания два раза в год устраивались торжественные Ассамблеи.

Светлая память о Николае Владимировиче Орлове навсегда останется с нами, его друзьями и коллегами, всеми, кто знал его лично, кому он помог и с кем сотрудничал. ■

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 (полуполноцветные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутоновых, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безвозмездной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 623.827 **Ключевые слова:** интегрированный программный комплекс интеллектуальной поддержки, проектирования подводных лодок новых поколений, современное хранилище данных (ХД), виртуальная среда гибридного моделирования (ГМ)

Ю.Н. Кормилицын, Ю.И. Нечаев. Интеллектуальная поддержка проектирования подводных лодок новых поколений: концепция современного хранилища данных//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 9

Рассмотрен подход к созданию интегрированного программного комплекса интеллектуальной поддержки (ИП) проектирования подводных лодок новых поколений на базе современного хранилища данных (ХД). Концептуальные решения по созданию ХД реализованы в виртуальной среде гибридного моделирования (ГМ) с использованием данных физического эксперимента и Грид-технологий интеграции знаний при взаимодействии с организациями-соисполнителями. Неопределенность и неполнота исходной информации, используемой на ранних стадиях проектирования, предопределили подход к обработке информации на основе концепции мягких вычислений (Soft Computing) и выявления «скрытых» знаний (Data Mining). Алгоритмы интерпретации информации и процедуры ИП при выборе решений реализованы в среде экстренных вычислений – эволюционной стратегии анализа альтернатив в пространствах поведения и управления современной теории катастроф (СТК). Ил. 5. Библиогр. 11 назв.

УДК 629.576 **Ключевые слова:** скоростное амфибийное судно, аэродинамика, проектирование, цифровой двойник

А.В. Февральских. Проектирование аэродинамической компоновки скоростного амфибийного судна с использованием технологий цифрового двойника//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 14

Исследованы возможности применения технологий ROM-моделирования и цифровых двойников при проектировании аэродинамики скоростного амфибийного судна. Предложен алгоритм проектирования аэродинамической компоновки, базирующийся на технологии численного моделирования и автоматизированной оптимизации. Исследована компоновка несущего крыла, оперения и пилона маршевой установки с целью определения компоновочных факторов – угла установки пилона и величины отстояния от передней кромки крыла, соответствующих максимальному значению аэродинамического качества. По результатам вычислительного эксперимента определена поверхность отклики и создана ROM-модель аэродинамической компоновки. Установлено, что в исследуемой области факторного пространства аэродинамическое качество заметно меняется при изменении угла установки пилона, нежели при изменении отстояния пилона от передней кромки крыла. Предложено объяснение полученного результата. Определено максимальное значение аэродинамического качества компоновки, а также соответствующее ему значение угла установки пилона и отстояния от крыла. Предложен вариант архитектуры цифрового двойника скоростного амфибийного судна на основе ROM-модели. Т. 3. Ил. 9. Библиогр. 10 назв.

УДК 629.576.532 **Ключевые слова:** амфибийное судно на воздушной подушке (АСВП), амфибийные свойства, преодоление берегового уклона

[В.К. Дьяченко, Д.Е. Цымыляков. Задача о выходе судна на воздушной подушке на берег с преодолением ук-

лона//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 20

Рассмотрена аналитическая задача о преодолении берегового уклона амфибийным судном на воздушной подушке (АСВП), предложен инструмент оценки реальных амфибийных качеств АСВП уже на ранних стадиях его проектирования. Ил. 5. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.12: 539.433 **Ключевые слова:** установившиеся колебания, квазидвухмерная модель, совместные колебания, инерционно-жесткостные характеристики, парциальные отклики

А.Л. Мелконян, Д.А. Николаев. Алгоритм расчета совместной вибрации судового корпуса и его конструктивных модулей с малым районом сопряжения//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 24

Предлагается ряд подходов для расчета совместной вибрации судового корпуса и его конструктивных модулей (судовых конструкций и устройств). Разработаны расчетные алгоритмы, реализация которых позволит единообразно решать задачи об установившихся колебаниях конструкций, моделируемых квазидвухмерными моделями. Суть метода состоит в коррекции и модификации значений инерционно-жесткостных характеристик такой модели, а так же внешней нагрузки, на нее действующей. Создана программа расчета параметров совместных установившихся колебаний несущей квазидвухмерной модели и присоединяемых к ней элементов. Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.463.3 **Ключевые слова:** плазменная очистка, криогенный бластинг, лазерно-плазменная обработка, ультразвуковая очистка

Р.А. Сахаров. Технологии плазменной очистки поверхностей металлических конструкций для судового машиностроения//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 31

Представлен альтернативный подход к очистке поверхности металлических изделий, который заключается в совершенствовании технологии плазменной обработки. Ил. 5. Библиогр. 9 назв.

УДК 629.05.081 **Ключевые слова:** размерный контроль, чистый размер, судометрика, электронная геометрическая модель

К.О. Будников. Вариант технологии размерного контроля при формировании корпусных конструкций судов с обеспечением единства геометрических измерений//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 37

Проанализирован процесс управления размерными цепями путем анализа взаимосвязей между геометрическими элементами в геометрических моделях и измерениями. Геометрическая модель используется в процессе размерного контроля, который позволяет определять на начальном этапе набор геометрических связей и цели измерений. Эти данные требуются закладывать при проектировании и учитывать при производстве. Т. 1. Ил. 2. Библиогр. 1 назв.

УДК 621.531.3–112 **Ключевые слова:** судостроение, повышение качества, точности, надежности, технологическая система, динамика, вибрация, автоколебания, основные фонды, паспортизация, диагностика

М.В. Александров, А.В. Вебер, В.А. Барсуков, Ю.М. Зубарев, В.И. Черненко. Динамика технологической системы и ее влияние на качество продукции судостроения//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 40

Рассмотрены вопросы повышения эффективности механообрабатывающего производства в судостроении

на основе учета вредного воздействия автоколебаний при механической обработке заготовок деталей машин и механизмов, методов устранения вредного воздействия этих колебаний с целью повышения работоспособности и надежности изделий. Ил. 1. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** военно-морской флот, боевые надводные корабли, многоцелевые корабли, корабельные дизельные двигатели, корабельные газотурбинные двигатели, корабельные энергетические установки, схемное исполнение энергетических установок, частичное электродвижение, полное электродвижение

А.В. Шляхтенко, И.Г. Захаров, В.В. Барановский. Тенденции эволюционного развития схемного исполнения энергетических установок многоцелевых надводных кораблей//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 43

Выполнен анализ тенденций и направленности эволюционного развития схемного исполнения корабельных энергетических установок (ЭУ), создаваемых на основе дизельных и газотурбинных двигателей. Проанализированы различия и сходства технических решений в ходе развития корабельных ЭУ ВМС ведущих морских держав и ВМФ РФ. Ил. 20. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.51 **Ключевые слова:** компрессор, роторный, винтовой, воздуходувка, водяное охлаждение, импортзамещение

Л.Г. Кузнецов, А.В. Бураков, Н.А. Котлов, А.А. Семенов. Роторные компрессорные станции для кораблей ВМФ, гражданского флота, нефтегазового сектора и энергетики//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 55

Изложен опыт АО «Компрессор» в компрессоростроении в части роторных компрессоров: винтовых компрессоров, воздуходувок, в частности, увеличен типоряд роторных компрессорных установок для судостроения и предложено новое поколение установок с водяным охлаждением для кораблей и судов ВМФ. Т. 3. Ил. 4. Библиогр. 8 назв.

УДК 539.3 **Ключевые слова:** иллюминатор, стеклоэлемент, обойма, геометрические параметры, методика оценки, необитаемый подводный аппарат

Н.М. Вихров, В.П. Лянзберг. О разработке сферического иллюминатора с учетом деформации обоймы//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 61

Приведена возможная методика оценки геометрических параметров обоймы иллюминаторов высокого давления для подводных конструкций небольших размеров (например, светильников или боксов для визуального наблюдения) необитаемых аппаратов. Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

УДК 623.946.63 **Ключевые слова:** подводная лодка, вооружение, торпедный аппарат, силовая установка, газогенератор, гидрогазогенератор, гидротурбина

А.А. Борискин, В.И. Караваев. Гидравлическая силовая установка торпедных аппаратов с газогенераторами для подводных лодок малого водоизмещения//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 62

Рассмотрен вопрос о вооружении подводных лодок (ПЛ) малого водоизмещения. Проанализированы существующие варианты реализации стрельбы из торпедного аппарата. Предложено техническое решение, адаптированное под ПЛ малого водоизмещения. Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

УДК 629.5.02:624.042.3:534 **Ключевые слова:** вибропоглощающие покрытия, судовые фундаменты, вибрация, entangled metallic wire material, шумоизоляция

И.В. Николаев. Разработка судового фундамента с повышенными виброизолирующими свойствами для условий повышенных температур и агрессивных воздействий//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 66

Выполнен анализ современных вибропоглощающих средств для судовых фундаментов. Предложена эффективная система снижения уровня вибрации в условиях высоких температур и агрессивных сред. Рассмотренный вибропоглонитель может найти применение на надводных и подводных кораблях ВМФ. Ил. 3. Библиогр. 7 назв.

УДК 629.5.03 **Ключевые слова:** судовой валопровод, поперечные колебания, собственная частота, осевая линия, уклон валопровода

Г.А. Кушнер, В.А. Мамонтов, В.В. Шахов. Исследование влияния уклона валопровода судна на параметры поперечных колебаний//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 69

Рассмотрена задача изучения влияния величины уклона судового валопровода на параметры поперечных колебаний. Приведена конструкция экспериментальной установки и описана методика проведения исследований. Результаты эксперимента представлены в виде тензограмм поперечных колебаний вала. Получены уравнения, связывающие выходные величины и факторы, влияющие на них, в виде интерполяционного многочлена. Приведена количественная оценка влияния угла уклона модели валопровода судна и зазора в дейдвудном подшипнике на величину частоты возникновения неустойчивого состояния. Ил. 6. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.5.065.5, 62–137 **Ключевые слова:** СПГ, СГ, погружной насос, судовой насос, криогенный, сжиженный газ, судно-газовоз, грузовой насос

П.А. Зеленов, М.Н. Боровков, И.Б. Коробов. Погружные насосы сжиженных газов на судах транспортного флота//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 72

Погружные насосы для перекачивания сжиженных газов – ответственный элемент систем газозовозов. В статье анализируются их особенности и основные закономерности развития. Показано, что главными тенденциями является совершенствование шнеков, подшипниковых систем. Обсуждается потребность и реализуемость универсализации погружных насосов. Ил. 4. Библиогр. 24 назв.

УДК 629.5.035.58 **Ключевые слова:** соосные гребные винты, многофункциональный двухступенчатый лопастный движитель, гидродинамическая эффективность

С.Л. Анчиков, А.Р. Тогуяц, Л.И. Вишневский. Средства улучшения эксплуатационных характеристик двухступенчатых лопастных движителей//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 76

Представлено краткое описание конструкций многофункциональных двухступенчатых лопастных движителей (МДЛД) и движительно-рулевых колонок (ДРК) с соосными гребными винтами противоположного вращения (СГВ), предложенных авторами на уровне изобретений и полезных моделей. Дано описание режимов работы МДЛД. Приведены данные модельных испытаний МДЛД в Крыловском государственном научном центре, подтвердившие целесообразность принятых конструктивных решений, обеспечивающих улучшение эксплуатационных характеристик судна. Представлена компоновка МДЛД для концептуального проекта транспортного судна. Рассмотрены конструктивные особенности ДРК с СГВ, влияющие на их эксплуатационные характеристики. Обсуждены средства улучшения эксплуатационных характеристик ДРК с СГВ, дана оценка ожидаемого улучшения их гидродинамической эффективности. Дана оценка перспективы применения ДРК с СГВ на примере российского гражданского флота. Т. 1. Ил. 8. Библиогр. 20 назв.

УДК 629.069 **Ключевые слова:** обрастание, защита

трубопроводов судна, электролиз

Ю.А. Степанов. Система защиты от обрастания трубопроводов забортной воды судна//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 81

Проанализирован состав судовых систем защиты трубопроводов от обрастания, построенных на принципе обогащения воды ионами меди. Описана структура и состав узлов разработанной АО «МНС» системы защиты от обрастания трубопроводов забортной воды судна. Ил. 5. Библиогр. 3 назв.

УДК 004.925.84:629.5 **Ключевые слова:** аддитивные технологии, 3D печать, полимерные материалы, обрабатывающий центр

М.А. Ермолаев. Аддитивные технологии в судостроении//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 85

Описаны современные методы изготовления изделий из полимерных материалов при помощи уникальной компоновки оборудования, которое позволяет выполнять 3D печать и фрезерную обработку изделия в рамках одного станка. Обозначены преимущества применения данной технологии и материалов. Ил. 3.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** машиностроительное предприятие, гражданское судостроение, военное кораблестроение, проектирование маломерных судов, композитные материалы, маринизация дизельных двигателей, установки водоочистки и водоподготовки

А. А. Кейбал. «Винета»: 25 лет верным курсом!//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 86

Знакомит с деятельностью и развитием ООО «Винета», которому исполнилось 25 лет. Дается информация о выпускаемых изделиях и перспективных разработках. Рассказано об активной работе предприятия по выполнению программы импортозамещения. Ил. 12.

УДК:681.5.01/511 **Ключевые слова:** Анализ и синтез автоматических систем, линейные и нелинейные математические модели, чувствительность систем управления, нелинейные динамические корректирующие устройства, системы с искусственным интеллектом.

С.Н. Шаров. Развитие методов проектирования систем автоматического управления в разработках АО «Концерн «Гранит-Электрон»//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 90

Показана эволюция методов проектирования автоматических систем в инженерных разработках автоматизированных и автоматических систем предприятия (Остехбюро – НИИ 49 – ЦНИИПА – ЦНИИ «Гранит» – АО «Концерн «Гранит-Электрон») для бортовых систем управления и наведения летательных аппаратов, а также корабельных систем управления ракетным оружием 1921–2021 гг. Ил.14. Библиогр. 36 назв.

УДК 621.389 **Ключевые слова:** конвертер, NMEA 0183, импульсный код, STM32, опто-развязка

М.И. Базанов, Ю.В. Шанин. Разработка конвертера сигналов NMEA 0183 в импульсный код//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 99

О разработке конвертера сигналов NMEA 0183 в импульсный код. Предложена функциональная схема конвертера на базе микроконтроллера семейства STM32. Сделан вывод о перспективности применения предложенного технического решения для обеспечения надежного сопряжения морского навигационного оборудования с различными протоколами передачи данных. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 8.

УДК 629.121/127 **Ключевые слова:** безкипажное судно, дистанционное управление, взаимодействие, автономный режим

В.М. Амбросовский, Д.В. Казунин, С.В. Смоленцев. Дистанционное управление безкипажными судами//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 105

Рассмотрены вопросы организационного и технического обеспечения контроля и управления МАНС

(морские автономные и дистанционно управляемые надводные суда) из ЦДУ (центр дистанционного управления). Приведены преимущества и недостатки центрального и региональных ЦДУ. Приведен состав ЦДУ для типового МАНС, приведен перечень сигналов и состав информации для обмена ЦДУ с МАНС. Ил. 6. Библиогр. 2.

УДК 623.4.054 **Ключевые слова:** архитектура, интеллект, экспертная система, информация, проектирование, база знаний

Ю.А. Ямщиков. Проектирование архитектуры экспертной системы отображения радиолокационной информации//Морской вестник. 2021. № 3(79). С. 109

Проведен анализ специфики функционирования технических средств системы отображения радиолокационной информации. Рассмотрен подход к проектированию экспертной системы отображения радиолокационной информации и предложен вариант построения ее архитектуры. Ил 4. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.391 **Ключевые слова:** морская радиосвязь, электромагнитная совместимость, пространственно-временная обработка сигналов, векторные марковские случайные процессы, методы адаптивной обработки

Е.И. Глушанков, Е.А. Рылов, Д.А. Цветков. Анализ электромагнитной совместимости в системах морской радиосвязи с многоэлементными антеннами//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 114

Предложен метод анализа электромагнитной совместимости (ЭМС) в системах морской радиосвязи с пространственно-временной обработкой сигналов, основанный на модельном описании параметров сигналов и помех в форме векторных марковских случайных процессов и использовании методов адаптивной обработки сигналов в многоэлементных антеннах. Ил. 1. Библиогр. 6.

УДК 519.3: 65.011.56: 621.865.8 **Ключевые слова** упругий объект, траектория – окружность, переносное и относительное движения, оптимальное управление, силы инерции.

А.И. Бохонский, Т.В. Мозолевская. Оптимальное перемещение упругого объекта по окружности//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 116

Исследована динамика упругого объекта при движении его основания в горизонтальной плоскости по дуге окружности. Используются два типа конструируемых управлений (разгон-торможение), обеспечивающих достижения состояния абсолютного покоя упругого объекта в конце движения. Оценено влияние центробежной силы инерции на колебание объекта в процессе движения; показано, что при используемых управлениях учет центробежной силы не влияет на обеспечение абсолютного покоя при достижении конечного положения объекта. Ил. 9. Библиогр. 18.

С.Н. Смелков, А.Н. Зайцев. Декомпозиция процессов принятия решения ИСБУ с архитектурой, основанной на принципе свободно агрегируемых программных модулей//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 119

Статья посвящена новым подходам к разработке программного обеспечения ИСБУ. Ил.2. Библиогр. 7 назв.

??? УДК 629.5 **Ключевые слова:** Совет Труда и Оборона, военно-морское судостроение, Балтийский завод, Адмиралтейский завод, линейные крейсера «Измаил», «Бородино», «Наварин», «Кинбурн», орудия главного калибра

В.Н. Половинкин, С.В. Федулов, Д.А. Косаренко. Трагедия линейных крейсеров Российской империи//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 121

Накануне Первой мировой войны на Балтийском и Адмиралтейском заводах были заложены линейные крейсера типа «Измаил». В результате Гражданской войны и интервенции флоту и судостроительной промышленности был нанесен колоссальный ущерб, в результате которого корабли достроить не удалось, и их пустили на слом. Ил. 11. Библиогр. 29 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 623.827 **Keywords:** integrated software package of intellectual support, design of new generations of submarines, modern data storage (HD), virtual environment of hybrid modeling (GM)

Yu.N. Kormilitsyn, Yu.I. Nechaev. Intelligent support for the design of new generations of submarines: the concept of a modern data warehouse//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.9

The article discusses an approach to the creation of an integrated software package for intelligent support (IP) for the design of new generations of submarines based on a modern data warehouse (CD). Conceptual solutions for the creation of CD are implemented in a virtual environment of hybrid modeling (GM) using data from a physical experiment and Grid technologies for integrating knowledge in interaction with co-executing organizations. Uncertainty and incompleteness of the initial information used in the early stages of design predetermined the approach to information processing based on the concept of soft computing (Soft Computing) and revealing «hidden» knowledge (Data Mining). Algorithms for interpreting information and IP procedures when choosing solutions are implemented in the environment of emergency computing - an evolutionary strategy for analyzing alternatives in the spaces of behavior and control of the modern theory of catastrophes (STC). Fig.5. Bibliography 11 titles.

UDC 629.576 **Keywords:** high-speed amphibious vessel, aerohydrodynamics, design, digital twin

A.V. Fevral'skikh. Designing the aerodynamic layout of a high-speed amphibious vessel using digital twin technologies//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.14

The possibilities of using ROM-modeling technologies and digital twins in the design of the aerodynamics of a high-speed amphibious ship are investigated. An algorithm for designing an aerohydrodynamic layout is proposed, based on the technology of numerical modeling and automated optimization. A study of the layout of the main wing, empennage and pylon of the propulsion system was carried out in order to determine the layout factors - the angle of installation of the pylon and the distance from the leading edge of the wing, corresponding to the maximum value of the aerodynamic quality. Based on the results of the computational experiment, the response surface was determined and a ROM-model of the aerodynamic layout was created. It was found that in the studied area of the factor space, the aerodynamic quality changes more noticeably with a change in the angle of installation of the pylon than with a change in the distance of the pylon from the leading edge of the wing. An explanation of the obtained result is proposed. The maximum value of the aerodynamic quality of the layout, as well as the corresponding value of the angle of installation of the pylon and the distance from the wing, have been determined. A variant of the architecture of a digital twin of a high-speed amphibious vessel based on a ROM model is proposed. T.3. Fig.9. Bibliography 10 titles.

UDC 629.576.532 **Keywords:** amphibious hovercraft (ASVP), amphibious properties, overcoming the coastal slope

V.K. D'yachenko, D.E. Tsymlyakov. The problem of

leaving a hovercraft ashore with overcoming a slope// Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.20

The analytical problem of overcoming the coastal slope by an amphibious hovercraft (ASVP) is considered, a tool for assessing the real amphibious qualities of ASVP is proposed at the early stages of its design. Fig.5. Bibliography 4 titles.

UDC 629.12: 539.433 **Keywords:** steady-state vibrations, quasi-one-dimensional model, joint vibrations, inertial-stiffness characteristics, partial responses

A.L. Melkonyan, D.A. Nikolaev. Algorithm for calculating the joint vibration of a ship's hull and its structural modules with a small interface area//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). C. 24

A number of approaches are proposed for calculating the joint vibration of a ship's hull and its structural modules (ship structures and devices). Computational algorithms have been developed, the implementation of which will make it possible to uniformly solve the problems of steady-state vibrations of structures modeled by quasi-one-dimensional models. The essence of the method is to correct and modify the values of the inertial-stiffness characteristics of such a model, as well as the external load acting on it. A program for calculating the parameters of joint steady-state vibrations of the bearing quasi-one-dimensional model and the elements attached to it has been created. Fig.4. Bibliography 6 titles.

UDC 629.463.3 **Keywords:** plasma cleaning, cryogenic blasting, laser-plasma treatment, ultrasonic cleaning

R. A. Sakharov. Technologies for plasma cleaning of the surface of metal structures for ship engineering// Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.31

The paper presents an alternative approach to cleaning the surface of metal products, which consists in improving the technology of plasma treatment. Fig.5. Bibliography 9 titles.

UDC 629.05.081 **Keywords:** dimensional control, net size, sudometry, electronic geometric model

K.O. Budnikov. Variant of technology of dimensional control in the formation of hull structures of ships with ensuring the uniformity of geometric measurements// Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.37

The process of controlling dimensional chains by analyzing the relationships between geometric elements in geometric models and measurements is considered. The geometric model is used in the process of dimensional control, which allows you to determine at the initial stage a set of geometric relationships and measurement goals. These data must be laid down in the design and taken into account in production. T.1. Fig.2. Bibliography 1 titles.

UDC 621.531.3-112 **Keywords:** shipbuilding, improving of quality, accuracy, reliability, technological system, dynamics, vibration, self-oscillations, fixed assets, certification, diagnostics

M.V. Alexandrov, A.V. Veber, V.A. Barsukov, Yu.M. Zu-

barev, V.I. Chernenko. Dynamics of the technological system and its impact on the quality of shipbuilding products // Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.40

The article deals with issues related to improving the efficiency of mechanical processing production in shipbuilding, based on taking into account the harmful effects of self-oscillations in the machining of blanks of machine parts and mechanisms, methods for eliminating the harmful effects of these fluctuations in order to improve the performance and reliability of products. Fig.1. Bibliography 6 titles.

UDC 621.436: 621.438 **Keywords:** navy, combat surface ships, multipurpose ships, ship diesel engines, ship gas turbine engines, ship power plants, schematic design of power plants, partial electric motion, full electric motion

A.V. Shlyakhtenko, I.G. Zakharov, V.V. Baranovsky, Trends in the evolutionary development of the schematic design of power plants of multipurpose surface ships// Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.43

The analysis of the trends and directions of the evolutionary development of the schematic execution of ship power plants (PP), created on the basis of diesel and gas turbine engines. The differences and similarities of technical solutions in the development of shipborne PPs of the Navy of the leading naval powers and the Russian Navy are analyzed. Fig.20. Bibliography 6 titles.

UDC 621.51 **Keywords:** compressor, rotary, screw, blower, water cooling, import substitution

L.G. Kuznetsov, A.V. Burakov, N.A. Kotlov, A.A. Semyonov. Rotary compressor stations for ships of the Navy, civil fleet, oil and gas sector and energy//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.55

The experience of JSC «Compressor» in compressor construction in terms of rotary compressors: screw compressors, blowers, in particular, the range of rotary compressor units for shipbuilding has been increased and a new generation of water-cooled units for ships and vessels of the Navy has been proposed. Fig.4. Bibliography 8 titles.

UDC 539.3 **Keywords:** porthole, glass element, holder, geometric parameters, assessment method, unmanned underwater vehicle

N.M. Vikhrov, V.P. Lyanzberg. On the development of a spherical window taking into account the deformation of the holder//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.61

A possible method for evaluating the geometric parameters of the high-pressure window holder for small underwater structures (for example, lamps or boxes for visual observation) of unmanned vehicles is presented. Fig.2. Bibliography 5 titles.

UDC 623.946.63 **Keywords:** submarine, weapons, torpedo tube, power plant, gas generator, hydro-gas generator, hydro turbine

A.A. Borisik, V.I. Karavaev. Hydraulic power plant of torpedo tubes with gas generators for submarines of small displacement//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.62

The issue of armament of small displacement submarines is considered. The existing options for the im-

plementation of firing from a torpedo tube are analyzed. The proposed technical solution adapted for submarines of small displacement. Fig.3. Bibliography 5 titles.

UDC 629.5.02: 624.042.3: 534 **Keywords:** vibration-absorbing coatings, ship foundations, vibration, entangled metallic wire material, noise insulation

I.V. Nikolaev. Development of a ship foundation with increased vibration-insulating properties for conditions of high temperatures and aggressive influences//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.66

The analysis of modern vibration-absorbing means for ship foundations is carried out. An effective system for reducing the level of vibration in conditions of high temperatures and corrosive environments is proposed. The considered vibration absorber can be used on surface and submarine ships of the Navy. Fig.3. Bibliography 8 titles.

UDC 629.5.03 **Keywords:** ship shafting, lateral vibrations, natural frequency, center line, shafting slope

G.A. Kushner, V.A. Mamontov, V.V. Shakhov. Investigation of the influence of the ship's shafting slope on the parameters of lateral vibrations//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.69

The paper considers the problem of studying the influence of the slope of the ship shafting on the parameters of transverse vibrations. The design of the experimental setup is presented and the research methodology is described. The results of the experiment are presented in the form of tensograms of the transverse vibrations of the shaft. Equations are obtained that connect the output quantities and the factors influencing them in the form of an interpolation polynomial. A quantitative assessment of the influence of the inclination angle of the ship shafting model and the clearance in the stern-tube bearing on the frequency of occurrence of an unstable state is given. Fig.6. Bibliography 6 titles.

UDC: 629.5.065.5, 62-137 **Keywords:** LNG, SG, submersible pump, ship pump, cryogenic, liquefied gas, gas carrier, cargo pump

P.A. Zelenov, M.N. Borovkov, I.B. Korobov. Submersible pumps for liquefied gases on ships of the transport fleet//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.72

Submersible pumps for pumping liquefied gases are a critical element of gas carrier systems. The article analyzes their features and basic patterns of development. It is shown that the main trends are the improvement of screws, bearing systems. The necessity and feasibility of universalization of submersible pumps is substantiated. Fig.4. Bibliography 24 titles.

UDC 629.5.035.58 **Keywords:** contra-rotating propellers, two-stage multipurpose propulsor, hydrodynamic efficiency

S.L. Anchikov, A.R. Togunjac, L.I. Vishnevsky. Means of performance improvement of two-stage blade propulsors//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.76

The paper contains brief description of two-stage multipurpose propulsors (TSMP) and steering thruster with contra-rotating propellers (CRP) in the development of which authors directly participated and protected by patents. It is schematic shown how works TSMP on the different modes of operation. The data of model tests of the TSMPs in the Krylov State Research Center are presented, which confirmed the feasibility of the adopted design solutions that provide improved operational characteristics of a vessel. The layout of the TSMP for the conceptual design of a transport vessel is presented. The design features of the steering thrusters with CRPs, affecting their operational characteristics, are considered. Solutions for improving operational characteristics of steering thrusters with CRPs are substantiated, and the expected improvement in their hydrodynamic efficiency is estimated. The prospects for the use of steering thrusters with CRPs is assessed on the example of the Russian Civil Fleet. T.1. Fig.8. Bibliography 20 titles.

UDC 629.069 **Keywords:** fouling, protection of ship pipelines, electrolysis

Yu.A. Stepanov. Antifouling system for outboard water pipelines//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.81

The article analyzes antifouling systems for ships and floating docks based on the principle of enrichment with copper ions. The structure and description of new antifouling system designed by Marine Bridge and Navigation Systems presented. Fig.5. Bibliography 3 titles.

UDC 004.925.84: 629.5 **Keywords:** additive technologies, 3D printing, polymer materials, machining center

M.A. Ermolaev. Additive technologies in shipbuilding//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.85

The article describes modern methods of manufacturing products from polymer materials using a unique layout of equipment that allows 3D printing and milling of products within a single machine. The advantages of using this technology and materials are outlined. Fig.3.

UDC 629.5 **Keywords:** machine-building enterprise, civil shipbuilding, military shipbuilding, design of small vessels, composite materials, marinating diesel engines, water treatment and water treatment plants

A.A. Keibal. «Vineta»: 25 years on the right course//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P. 86

Introduces the activities and development of Vineta JSC, which is 25 years old. Provides information about the products and promising developments. It is told about the active work of the enterprise on the implementation of the import substitution program. Fig.12.

UDC: 681.5.01 / 511 **Keywords:** Analysis and synthesis of automatic systems, linear and nonlinear mathematical models, sensitivity of control systems, nonlinear dynamic correcting devices, systems with artificial intelligence

S.N. Sharov. Development of design methods for automatic control systems in the development of JSC Concern Granit-Electron//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.90

The evolution of methods for designing automatic systems in engineering developments of automated and automatic systems of an enterprise (OsTechBuro - NII 49 - TsNIIPA - TsNII Granit - JSC Concern Granit-Electron) for on-board control and guidance systems of aircraft, as well as ship control systems missile weapons 1921-2021. Fig.14. Bibliography 36 titles.

UDC 621.389 **Keywords:** converter, NMEA 0183, pulse code, STM32, opto-isolation

M.I. Bazanov, Yu.V. Shanin. Development of a converter of NMEA 0183 signals into a pulse code //Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.99

The development of a converter of NMEA 0183 signals into a pulse code is considered. A functional diagram of a converter based on a microcontroller of the STM32 family is proposed. The conclusion is made about the prospects of using the proposed technical solution to ensure reliable interfacing of marine navigation equipment with various data transfer protocols. T.1. Fig.5. Bibliography 8 titles.

UDC 629.121/127 **Keywords:** unmanned navigation, remote control, interaction, autonomous mode

V.M. Ambrosovsky, D.V. Kazunin, S.V. Smolentsev. Remote control of unmanned vessels//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.105

The article deals with the issues of organizational and technical support for the control and management of the IANS (autonomous and remotely controlled surface ships) from the Central Dispatch Administration (remote control center). The advantages and disadvantages of the central and regional CDU are given. The composition of the CDU for a typical IANS is given, a list of signals and

the composition of information for the exchange of the CDU with the IANS is given. Fig.6. Bibliography 2 titles.

UDC 623.4.054 **Keywords:** architecture, intelligence, expert system, information, design, knowledge base

Yu.A. Yamshchikov. Design of the architecture of the expert system for displaying radar information //Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.109

The article analyzes the specifics of the functioning of the technical means of the radar information display system. An approach to design is considered and a variant of building the architecture of an expert system for displaying radar information is proposed. Fig.4. Bibliography 6 titles.

UDC 621.391 **Keywords:** maritime radio communication, electromagnetic compatibility, space-time signal processing, vector Markov random processes, methods of adaptive processing

E.I. Glushankov, E.A. Rylov, D.A. Tsvetkov. Analysis of electromagnetic compatibility in marine radio communication systems with multi-element antennas//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P. 114

A method for the analysis of electromagnetic compatibility (EMC) in maritime radio communication systems with space-time signal processing is proposed, based on a model description of the parameters of signals and interference in the form of vector Markov random processes and the use of methods for adaptive signal processing in multi-element antennas. Fig.1. Bibliography 6 titles.

UDC 519.3: 65.011.56: 621.865.8 **Keywords:** resilient object, trajectory – circumference, portable and relative movement, optimal management, the forces of inertia

A.I. Bokhonsky, T.V. Mozolevskaya. Optimal movement of an elastic object around a circle //Morskoy Vestnik. 2021. No. 3(79). S. 116

The dynamics of the elastic object are investigated when its base moves in a horizontal plane along the circle arc. Two types of designed control (acceleration - braking) are used to achieve the state of absolute rest of the elastic object at the end of the movement. The influence of centrifugal force of inertia on the oscillation of the object is assessed during the movement; it is shown that the centrifugal force is not affected by the provision of absolute peace when reaching the final position of the object. Fig.9. Bibliography 18 titles.

UDC 004.021: 004.415.23: 004.4 *236: 004.422.1 **Keywords:** ISBU, management processes, software development technology, network and scheduling, process optimization in ISBU

S.N. Smelkov, A.N. Zaitsev. Decomposition of decision-making processes ISBU with architecture based on the principle of freely aggregated program modules//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P. 119

The article is devoted to new approaches to the development of ISBU software. Fig.2. Bibliography 7 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** Council of Labor and Defense, naval shipbuilding, Baltic Shipyard, Admiralty Shipyard, battle cruisers Izmail, Borodino, Navarin, Kinburn, main caliber guns

V.N. Polovinkin, S.V. Fedulov, D.A. Kosarenko. The tragedy of the battle cruisers of the Russian Empire//Morskoy Vestnik. 2021. № 3(79). P.121

On the eve of the First World War, the Ismail-class battlecruisers were laid down at the Baltic and Admiralty Factories. As a result of the Civil War and the intervention of the navy and the shipbuilding industry, enormous damage was caused, as a result of which the ships could not be completed and they were scrapped. Fig.11. Bibliography 29 titles.