

Морской

Вестник



№2(38)

И Ю Н Ъ

2 0 1 1

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik



МОРСКОЙ ЗАВОД АЛМАЗ

1911-2011



Гард-Вин-Чайна-
первая продукция в 1911.

100 лет на службе Отечеству

Морской Вестник



№2(38)

И Ю Н Ь

2 0 1 1

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

Сопредседатели:

В.Л. Александров, президент
Международного и Российского НТО
судостроителей им. акад. А.Н. Крылова

К.П. Борисенко, ректор СПбГМТУ

Члены совета:

С.П. Алексеев, генеральный директор ОАО «ГНИНГИ»

С.П. Андрущук, генеральный директор
ОАО «Системы управления и приборы»

С.О. Барышников, ректор СПбГУВК

Н.М. Вихров, генеральный директор
ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»

Л.Г. Грабовец, генеральный директор ОАО «СФ «Алмаз»

Г.В. Егоров, генеральный директор
ЗАО «Морское инженерное бюро СПб»

В.Н. Киреев, начальник управления ОАО «ОСК»

Л.М. Клячко, генеральный директор ОАО «ЦНИИ «Курс»

Л.В. Колесников, генеральный директор ОАО «Аскольд»

С.Р. Комаров, председатель Совета директоров ЗАО «МНС»

Е.В. Комраков, генеральный директор
ЗАО «РЕ.Т. Кронштадт»

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

Г.А. Коржавин, генеральный директор
ОАО «Концерн «Транит-Электрон»

С.Л. Краусс, председатель Совета директоров
ООО «ИРИСОФТ»

Л.Г. Кузнецов, генеральный директор
ОАО «Компрессор»

А.П. Матлах, генеральный директор
ООО «НПО «Полярная звезда»

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

Н.В. Орлов, председатель
Санкт-Петербургского Морского собрания

В.А. Середохо, генеральный директор
ОАО «Средне-Невский судостроительный завод»

И.Г. Смирнов, генеральный директор
ОАО «Новая ЭРА»

В.А. Солонько, генеральный директор
ЗАО «НПО Севзапспецавтоматика»

В.И. Спиридопуло, генеральный директор
ОАО «Северное ПКБ»

Д.В. Сулов, директор ЗАО «ЦНИИ СМ»

Г.В. Тарица, генеральный директор
ООО «ПКБ «Петробалт»

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

А.Н. Тихомиров, генеральный директор
ЗАО «Транстех Невы Эксбишнс»

Г.Д. Филимонов, генеральный директор
ЗАО «Концерн «МорФлот»

А.Б. Фомичев, генеральный директор
ОАО «СЗ «Северная верфь»

В.В. Шаталов, генеральный директор
ОАО «КБ «Вымпел»

К.Ю. Шилов, генеральный директор
ОАО «Концерн НПО «Аврора»

А.В. Шляхтенко, генеральный директор –
генеральный конструктор ОАО «ЦМКБ «Алмаз»

В.Е. Юхнин, генеральный конструктор
ОАО «Северное ПКБ»

СОДЕРЖАНИЕ

К.П. Борисенко. Санкт-Петербургский государственный морской технический университет получил особый статус	6
К 70-летию Э.А. Конова	6

СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

М.В. Александров. «Адмиралтейские верфи» готовы к строительству новых кораблей для подводного флота	9
В.Г. Гаврилов. Состояние и перспективы развития кораблей на воздушной подушке скегового типа	12
К 100-летию ОАО «Морской завод «Алмаз»	17
А.Б. Фомичев. «Северная верфь» в преддверии Салона	21
Д.В. Курочкин. Корвет будущего – каким ему быть?	23
Г.Д. Филимонов, С.Г. Филимонов, А.Г. Филимонов, К.Г. Шмолдаев. Модернизация корпусообработывающего производства российских верфей путем внедрения новой техники и технологии	31
Львин Аунг Соэ, Б.А. Царев. Взаимосвязь характеристик вместимости и мощности при оптимизации рыболовных судов	33
Г.Н. Муру. Условия эффективного функционирования системы технического обслуживания и ремонта морской техники	39

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И СУДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

А.А. Арутюнян, А.А. Георгиев, В.Д. Завирухо, Д.В. Сулов. К вопросу оптимизации проектных решений при проектировании несущих металлоконструкций судовых механизмов с применением генетических алгоритмов	43
Л.В. Колесников. Трубопроводная арматура производства ОАО «Аскольд» – залог надежности и качества	46
Н.П. Шаманов, В.В. Кожемякин, Д.Н. Шаманов, В.Б. Соломянский, И.М. Алексеенко. Полунатурный стенд на Приморской учебно-научной базе СПбГМТУ для экспериментальных исследований судового ядерного моноблочного паропроизводящего агрегата «Бета»	47
Н.П. Шаманов, Д.Н. Шаманов, А.Г. Андреев. Особенности запуска струйного аппарата в первом контуре ядерной паропроизводящей установки	49
А.Ю. Губанов, Ю.А. Губанов. Бесперебойное электропитание: теория и практика	53
Перспективы развития судовых электроэнергетических систем	59
К 60-летию В.Н. Половинкина	61
Б.Б. Бабенко, В.М. Приходько. Асинхронная машина с конденсаторами в цепи фазного ротора	62
М.В. Омелянюк. Очистка систем охлаждения судовых дизельных установок и газоперекачивающих агрегатов	63
Б.А. Тихомиров, Зо Вин Тхайк. Характеристики судовых комбинированных газопаротурбинных установок на переменном режиме	67
А.С. Кротов, Б.А. Макаров, В.И. Яковлев, В.Л. Уманский. Исследование динамических характеристик пароконденсационных холодильных машин на многокомпонентных смесях хладагентов	71



РАДИОЭЛЕКТРОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

- К. Ю. Шилов, В. В. Кобзев.** Контроль работы оператора в автоматизированных системах обучения 75
- Ю.Ф. Подоплекин, С.Н. Шаров.** Корабельный модуль аппаратуры освещения надводной и наземной обстановки на базе беспилотного летательного аппарата 78
- В.М. Амбросовский, Ю.В. Баглюк, А.Н. Коданев, А.С. Корнев.** Система координированного управления движением корабля 85

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- А.В. Макишанов, В.А. Колесник, В.А. Солонько.** Обнаружение и классификация сбоев в работе сложной технической системы по результатам многоканальных измерений различной физической природы 89

ОСВОЕНИЕ ОКЕАНА И ШЕЛЬФА

- С.П. Алексеев, А.Н. Добротворский, П.Г. Бродский.** Организация сотрудничества ВМФ и ОАО «Газпром» – залог системного решения проблемы повышения безопасности морских нефтегазовых объектов 93

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

- К.А. Смирнов, В.Г. Дзюба, А.О. Попко, С.Л. Ражев.** Специальное программное обеспечение для производства гидрографических работ PDS-2000 97

МОРСКАЯ ТЕХНИКА: НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

- Г.В. Егоров, И.А. Ильницкий, Б.Н. Станков, А.В. Печенюк.** Проработка вариантов пропульсивного комплекса судна смешанного плавания класса «Волго-Дон макс» 101
- С.О. Барышников, А.Н. Иванов.** Обзор методов представления структуры зубчатых механизмов 108
- М.С. Бойко.** Постановка, методы и алгоритмы решения задачи имитационного моделирования волновых нагрузок, действующих на корпус судна 111
- Тан Хтун Аунг.** Определение ускорений, возникающих при качке судна на мелководье 113
- А.К. Урядов.** Задача о кавитационном обтекании решетки пластин с интерцептором с образованием застойной зоны и замыканием каверны по схеме Тулина–Терентьева 116

БИЗНЕС И ПРАВО

- Управление качеством эксплуатационных характеристик, надежностью и безопасностью продукции 121

ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

- Международный военно-морской салон IMDS–2011, 29 июня–3 июля 2011, Санкт-Петербург (1)
- Одиннадцатая международная выставка и конференция НЕВА–2011, 20–23 сентября 2011, Санкт-Петербург (29)

В НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

- К.В. Рождественский.** Визит делегации Российского Научно-технического общества судостроителей в Лондон 124

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

- С.П. Сирый.** Двенадцатый морской министр императорского флота России адмирал Н.М. Чихачев 126

Главный редактор

Э.А. Конов, канд. техн. наук
Тел./факс: (812) 6004586
Факс: (812) 5711545
E-mail: morvest@gmail.com
www.morvest.korabel.ru

Редакционная коллегия

К.Г. Абрамян, д-р техн. наук, проф.
Ю.В. Баглюк, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Ю.В. Варганов, канд. истор. наук, доцент
Е.А. Горин, д-р эконом. наук
Е.В. Игошин, канд. техн. наук
Б.П. Ионов, д-р техн. наук
Ю.Н. Кормилицин, д-р техн. наук, проф.
А.И. Короткин, д-р техн. наук, проф.
С.И. Логачев, д-р техн. наук, проф.
П.И. Малеев, д-р техн. наук
Ю.И. Нечаев, д-р техн. наук, проф.
В.С. Никитин, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Никифоров, д-р техн. наук, проф.
Ю.Ф. Подоплекин, д-р техн. наук, проф., акад. РАН
В.И. Поляков, д-р техн. наук, проф.
Л.А. Промыслов, канд. техн. наук
Ю.Д. Прякин, д-р истор. наук, проф.
А.В. Пустошный, чл.-корр. РАН
К.В. Рождественский, д-р техн. наук, проф.
А.А. Русецкий, д-р техн. наук, проф.
Ю.Ф. Тарасюк, д-р техн. наук, проф.
В.И. Черненко, д-р техн. наук, проф.
Б.А. Царев, д-р техн. наук, проф.

Редакция

Тел./факс: (812) 6004586
E-mail: morvest@gmail.com

Редактор

Т.И. Ильичева

Дизайн, верстка

С.А. Кириллов

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.
Электронные версии журналов 2006–2011 гг.
размещены на сайте ООО «Научная электронная
библиотека» www.elib.rugru и включены 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.
<http://vak.ed.gov.ru>

Подписка на журнал «Морской вестник»
(индекс 36093) может быть оформлена по каталогу
Агентства «Роспечать» или непосредственно
в редакции журнала через издательство «Мор Вест».
Отпечатано в типографии «Премиум-пресс».

Тираж 1000 экз. Заказ № 1113.
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.



Editorial Council

Co-chairmen:

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

K.P. Borisenko, Rector SPbSMTU

Council Members:

S.P. Alekseev, General Director JSC SRNHI

S.P. Andryuschyuk, General Director

JSC Control Systems and Instruments

S.O. Baryshnikov, Rector SPbSUWC

G.V. Egorov, General Director

JSC Marine Engineering Bureau SPb

G.D. Filimonov, General Director

JSC Concern Mor Flot

A.B. Fomichev, General Director

JSC SP Severnaya Verf

L.G. Grabovets, General Director JSC SF Almaz

V.N. Kireev, Head of the Project «DB» in

JSC United Shipbuilding Corporation

L.M. Klyachko, General Director

JSC ZNII KURS

L.V. Kolesnikov, General Director JSC Askold

S.R. Komarov, Chairman

of the Board of Directors JSC MNS

E.V. Komrakov, General Director

JSC R.E.T. Kronshtadt

E.A. Konov, Director,

JSC Publishing House Mor Vest

G.A. Korzhavin, General Director,

JSC Concern Granit-Elektron

S.L. Krauss, Chairman

of the Board Directors JSC IRISFORT

L.G. Kuznetsov, General Director JSC Compressor

A.P. Matlakh, General Director

JSC SPA Poliarnaya Zvezda

G.N. Muru, General Director JSC 51CCTIS

N.V. Orlov, Chairman

St.Petersburg Marine Assembly

V.V. Shatalov, General Director

JSC DB «Vympel»

V.A. Seredokho, General Director

JSC Sredne-Nevsky sudostroitelny zavod

K.Yu. Shilov, General Director

JSC Concern SPA Avrora

A.V. Shliakhtenko, General Director –

General Designer JSC ZMKB Almaz

I.G. Smirnov, General Director JSC New ERA

V.A. Solon'ko, General Director

JSC SPA Sevzapspezavtomatika

Y.I. Spiridopulo, General Director

JSC Severnoye Design Bureau

D.V. Suslov, Director JSC CRISM

G.V. Taritsa, General Director JSC PDB Petrobalt

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

A.N. Tikhomirov, General Director

JSC Transtech Neva Exhibitions

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

V.E. Yukhnin, General Designer

JSC Severnoye Design Bureau

CONTENTS

K.P. Borisenko . St. Petersburg State Marine Technical University has received a special status	6
To the 70 anniversary of E.A. Konov	6

SHIPBUILDING AND SHIP REPAIRING

M.V. Aleksandrov . «Admiralty» Shipyards are ready to build new submarine for Navy	9
V.G. Gavrilov . Conditions and prospects of skeg type hovercrafts development	12
To the 100 anniversary of OJSC «Morskoy zavod 'Almaz'»	17
A.B. Fomichev . «Severnaya Verf» in anticipation of the Salon	21
D.V. Kurochkin . Corvette of the future – what shall it be?	23
G.D. Filimonov, S.G. Filimonov, A.G. Filimonov, K.G. Shmoldaev . Modernization of Russian hull producing shipyards through the implantation of new equipment and technology	31
Lwinn Aung Soe, B.A. Tsarev . Relationship of characteristics of capacity and power at the optimization of fishing vessels.....	33
G.N. Muru . Conditions for effective functioning of the marine equipment maintenance and repair system	39

POWER PLANTS AND MARINE EQUIPMENT

A.A. Arutyunyan, A.A. Georgiev, V.D. Zavirhuo, D.V. Suslov . On the issue of optimizing design solutions in designing of bearing steel structures of ship mechanisms using genetic algorithms	43
L.V. Kolesnikov . Piping valves manufactured by OJSC «Askold» is a guarantee of reliability and quality	46
N.P. Shamanov, V.V. Kozhemyakin, D.N. Shamanov, V.B. Solomyansky, I.M. Alekseenko . Semi-natural stand at the Maritime Training-Scientific Base of the SPbGMTU for experimental studies of ship's nuclear mono-block steam generating unit «Beta»	47
N.P. Shamanov, D.N. Shamanov, A.G. Andreev . Features of start-up of the jet apparatus in the first loop of nuclear steam-generating unit	49
A.Y. Gubanov, Y.A. Gubanov . Uninterrupted Power Supply: Theory and Practice	53
Prospects for the development of ship power systems	59
To the 60th anniversary of V.N. Polovinkin	61
Babenko B.B., Prikhodko V.M. Asynchronous machine with the capacitors in the circuit of the phase rotor	62
M.V. Omelyanyuk . Cleaning the cooling systems of marine diesel and gas pumping units	63
B.A. Tikhomirov, Zaw Win Thayk . Specifications of ship combined gas-steam turbine plants in alternate mode	67
A.S. Krotov, B.A. Makarov, V.I. Yakovlev, V.L. Umansky . Study of dynamic characteristics of vapor compression chillers in multi-component mixtures of coolants	71



RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT AND CONTROL SYSTEMS

K. Y. Shilov, V.V. Kobzev. Control over operator's work in automated training systems 75

Y.F. Podoplekin, S.N. Sharov. Ship's module of lighting equipment for water and ground environment on the basis of UAV 78

V.M. Ambrosovskiy, Y.V. Baglyuk, A.N. Kodanev, A.S. Korenev. The system of coordinated control of ship's movement 85

INDUSTRIAL SAFETY

A.V. Makshanov, V.A. Kolesnik, V.A. Solonko. Detection and classification of faults in operation of complex engineering system based on multi-channel measurements of different physical nature 89

OCEAN AND SHELF DEVELOPMENT

S.P. Alekseev, A.N. Dobrotvorsky, P.G. Brodsky. Organization of cooperation between the Navy and OJSC «Gazprom» is a guarantee of systematic solving the problem of improving the safety of marine oil & gas facilities 93

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

K.A. Smirnov, V.G. Dzuba, A.O. Popko, S.L. Razhev. Special software for hydrographic works PDS-2000 97

MARITIME ENGINEERING: SCIENCE AND TECHNOLOGIES

G.V. Egorov, I.A. Ilnitsky, B.N. Stankov, A.V. Pechenuk. Working-out the options for propulsion system of the mixed navigation ship of «Volga-Don max» class 101

S. O. Baryshnikov, A.N. Ivanov. Review of methods for presenting the structure of gears 108

M.S. Boyko. Formulation, methods and algorithms for solving the problem of simulation of wave loads on the hull 111

Tan Khtun Aung. Determination of accelerations occurring at ship's pitch in shallow waters 113

A.K. Uryadov. The problem of the cavity flow of plate grids with interceptor with the formation of dead zone and closure of the cavity as per Tulin-Terentyev diagram 116

BUSINESS AND LAW

Quality control of products performance, reliability and safety 121

EXHIBITIONS AND CONFERENCES

Maritime Defence Show IMDS-2011, June 29-July 3, 2011, St.Petersburg (1)

The 11th International Exhibition and Conference NEVA-2011, 20-23 of September, 2011, St.Petersburg (29)

IN THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

K.V. Rozhdestvensky. London visit of the delegation of the Russian Scientific-Technical Society of Shipbuilders 124

HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

S.P. Siry. Twelfth Marine Minister of the Imperial Russian Navy, Admiral, N.M. Chikhachev 126

Editor-in-Chief

E.A. Konov, Ph. D.
Phone/Fax: +7 (812) 6004586
Fax: +7 (812) 5711545
E-mail: morvest@gmail.com
www.morvest.korabel.ru

Editorial Collegium

K.G. Abramyan, D. Sc., Prof.
Y.V. Baglyuk, Ph. D.
Y.I. Chernenko, D. Sc., Prof.
E.A. Gorin, D. Sc.
E.V. Igoshin, Ph. D.
B.P. Ionov, D. Sc.
Y.N. Kormilitsin, D. Sc., Prof.
A.I. Korotkin, D. Sc., Prof.
S.I. Logachev, D. Sc., Prof.
P.I. Maleev, D. Sc.
Y.I. Nechaev, D. Sc., Prof.
V.S. Nikitin, D. Sc., Prof.
V.G. Nikiforov, D. Sc., Prof.
Y.F. Podoplekin, D. Sc., Prof., member of the Academy of Rocket and Artillery of Sciences of Russia
Y.I. Polyakov, D. Sc., Prof.
L.A. Promyslov, Ph. D.
Y.D. Pryakhin, D. Sc., Prof.
A.V. Pustoshny, corresponding member of the Academy of Sciences of Russia
K.V. Rozhdestvensky, D. Sc., Prof.
A.A. Rusetzky, D. Sc., Prof.
Y.F. Tarasyuk, D. Sc., Prof.
B.A. Tzarev, D. Sc., Prof.
Y.V. Varganov, Ph. D.

Editorial staff

Phone/Fax +7 (812) 6004586
E-mail: morvest@gmail.com

Editor

T.I. Ilyichiova

Design, imposition

S.A. Kirillov

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 magazines electronic versions of 2006-2011 are placed on the site LLC "Nauchnaya elektronnyaya biblioteka" www.elibrary.ru and are 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.
<http://vak.ed.gov.ru>

You can subscribe to the Morskoy Vestnik magazine using the catalogue of "Rospechat" agency (subscription index 36093) or directly at the editor's office via the Morvest Publishing House.

Printed in the Printing-House "Premium-press".

Circulation 1000. Order № 1113.

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.

24 января 2011 г. вступил в силу Указ Президента Российской Федерации №63.

В соответствии с ним Санкт-Петербургскому государственному морскому техническому университету наряду с Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова, Санкт-Петербургским государственным университетом и Московским государственным техническим университетом имени Н.Э.Баумана, предоставлено право самостоятельно устанавливать образовательные стандарты и требования для реализуемых ими программ высшего профессионального образования.

Присвоение СПбГМТУ особого статуса – это мощный импульс и широкие возможности для модернизации образования в области морской техники и технологий и вместе с тем высочайшая ответственность за качество подготовки кадров для судостроительной отрасли страны.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПОЛУЧИЛ ОСОБЫЙ СТАТУС

*К.П.Борисенко, проф., ректор СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 714 0761*

Реализация новых возможностей видится на пути глубокой интеграции образования, науки и промышленности.

Оперативное изменение структуры подготовки кадров, внедрение в учебный процесс новых элементов, быстрое реагирование на требования заказчика – все это открывает широкие возможности для насыщения отрасли специалистами но-

вой формации, сокращения срока их адаптации к реальным условиям производства. Это, несомненно, будет способствовать и ускорению модернизации судостроительной отрасли в целом.

Коллектив СПбГМТУ с энтузиазмом воспринял решение Президента РФ Д.А.Медведева и рассчитывает на творческую поддержку всего судостроительного сообщества.

15 мая исполнилось 70 лет Эдуарду Александровичу Конову. Родился он в Кисловодске, начальную школу окончил в Буйнакске (Дагестан), среднюю школу закончил с золотой медалью в г. Кривой Рог (Украина).

В 1958 г. поступил в Ленинградский кораблестроительный институт, который закончил с отличием по специальности «Гидромеханика корабля».

С 1964 по 1988 г. работал в ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова, где прошел путь от инженера до начальника отдела. В 1971 г. защитил кандидатскую диссертацию в области гидроаэродинамики судов с динамическими принципами поддержания.

С 1988 по 1991 г. – заместитель генерального директора по научной работе в НПО «Судостроение» (Минречфлот).

С 1991 по 2001 г. – заместитель директора издательства «Судостроение», одновременно с 1994 по 2001 г. – главный редактор «Морского журнала», с 1999 по 2001 г. – генеральный директор и главный редактор журнала «Промышленная безопасность в Северо-Западном регионе».

К 70-ЛЕТИЮ Э.А.КОНОВА



С конца 2001 г. – соучредитель и директор ООО Издательство «Мор Вест» и главный редактор журнала «Морской вестник», который выходит ежеквартально с марта 2002 г.

Журнал включен решением Президиума ВАК в 2004 г. в перечень ведущих рецензируемых научных журналов.

Издательство «Мор Вест», выпускает кроме журнала еще и книги («Вибрация судов», «Гидромеханика», «Присоединенные массы судостроительных конструкций», «Кормчие России», «Мировое судостроение», «За погружением – всплытие» и др.).

Э.А. Конов – автор свыше 50 научных трудов. Награжден медалями «За доблестный труд», «300 лет Российскому флоту»; общественными медалями «Министр-судостроитель Б.Е.Бутома», «200 лет Шамилю» (Дагестан), золотой медалью Петра Великого, серебряной медалью адмирала Лазарева и др.

Входит в состав Центрального правления Российского Научно-технического общества судостроителей им. акад. А.Н.Крылова, является членом Санкт-Петербургского Морского собрания.

Редакционный совет и редколлегия журнала поздравляют Эдуарда Александровича с днем рождения, желают здоровья, удачи и дальнейшей активной работы по информационной поддержке актуальных научных, проектных и инженерных разработок в области морской деятельности на благо России.

ОАО «Адмиралтейские верфи» – признанный центр неатомного подводного кораблестроения России – без малого 80 лет специализируются на строительстве подводных лодок. За эти годы на старейшей отечественной верфи построено более 300 подводных лодок (ПЛ) различных проектов (из них 41 атомная), в том числе 37 на экспорт; 69 глубоководных и подводных аппаратов.

Сегодня предприятие продолжает успешно развивать строительство и проводить ремонт ПЛ как для ВМФ России, так и по линии военно-технического сотрудничества с зарубежными государствами.

По оценке ряда экспертов, на сегодняшний день «Адмиралтейские верфи» занимают значительную долю на мировом рынке неатомного подводного кораблестроения. Только за 2004–2010 гг. на верфях успешно завершены контракты на строительство семи дизель-электрических подводных лодок пр. 636 для иностранных заказчиков.

В апреле 2010 года был подписан акт о передаче ВМФ России головной ПЛ четвертого поколения пр. 677 «Санкт-Петербург», а в мае состоялась торжественная церемония поднятия на ней военно-морского флага. В настоящее время на ОАО «Адмиралтейские верфи» уже строятся две серийные ПЛ данного проекта – «Кронштадт» и «Севастополь», работы на которых планируется завершить в 2013 и 2015 гг. соответственно.

В 2007 г. после модернизации и успешного прохождения глубоководных испытаний (погружение на глубину 3600 м) заказчику – ВМФ России – был передан глубоководный аппарат (ГА) «Русь».

Летом 2010 г. программу первого этапа государственных испытаний успешно прошел ГА «Консул» – 70-й глубоководный аппарат, строительство которого завершается на ОАО «Адмиралтейские верфи». В настоящее время оба ГА – «Русь» и «Консул» – готовятся к

«АДМИРАЛТЕЙСКИЕ ВЕРФИ» ГОТОВЫ К СТРОИТЕЛЬСТВУ НОВЫХ КОРАБЛЕЙ ДЛЯ ПОДВОДНОГО ФЛОТА

*М.В. Александров, врио генерального директора
ОАО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. (812) 312 7212, 714 8863*



М.В. Александров

погружению на глубину 6000 м в Центральной Атлантике.

«Адмиралтейские верфи» – одно из немногих судостроительных предприятий России, которое успешно совмещает в своей деятельности строительство новых ПЛ и производство среднего и текущего ремонта ранее построенных заказов как на собственных стапелях, так и на территории страны-заказчика. Так, в 2002–2007 гг. специалисты верфи выполнили средний ремонт с модернизацией трех подводных лодок пр. 877 ЭКМ для двух иностранных государств (для одного из них – с модернизацией под ракетный комплекс «Клаб-С»). Осу-

ществлен текущий ремонт ПЛ 877 проекта для ВМФ России.

В 2006 г. ОАО «Адмиралтейские верфи» – первые в российском кораблестроении – выполнили текущий ремонт ПЛ пр. 877 ЭКМ на территории страны-заказчика. Специалисты верфи также оказывали техническое содействие иностранному заказчику в проведении ремонта ПЛ пр. 636 на его территории.

Итоги работы предприятия в 2006–2010 гг. в области подводного кораблестроения свидетельствуют о том, что сегодня ОАО «Адмиралтейские верфи» являются современным высокотехнологичным многопрофильным предприятием, успешно работающим как на российском, так и на мировых рынках судостроения. Производственные мощности и оснащение верфи позволяют строить на ней корабли, отвечающие всем современным международным требованиям.

На 1 января 2011 г. все контрактные обязательства предприятия по гособоронзаказу и по линии военно-технического сотрудничества – выполнены.

Перспективы развития ОАО «Адмиралтейские верфи» характеризуются сохранением и развитием имеющихся позиций на рынке современных неатомных подводных лодок и глубоководной техники. Этому способствуют преемственность традиций, сильная профессиональная база и стремление к освоению новых проектов и технологий, свойственное коллективу верфи.

Сегодня подводное кораблестроение предприятия ориентировано на два основных пр.: классический пр. 636 («Варшавянка») и новый пр. 677 – «Лада» и «Амур» 1650 (экспортный вариант). Подводные лодки пр. 636 относятся к третьему поколению дизель-электрических подводных лодок (ДЭПЛ) и являются модификацией подводных лодок пр. 877 и 877ЭКМ, известных во всем мире благодаря своим высоким тактико-техническим характеристикам и получившим классификацию «Кило». ОАО «Адмиралтейские верфи» строят ПЛ этого пр. с 1983 г. на экспорт.

ПЛ модифицированного пр. 636 воблали в себя все лучшее от своих пред-



Глубоководные аппараты «Русь» и «Консул»



шественников, при этом они имеют более высокую (по сравнению с предыдущими пр.ми) боевую эффективность. Оптимальное сочетание акустической скрытности, дальности обнаружения целей, новейшего инерциального навигационного комплекса, современной автоматизированной информационно-управляющей системы, обеспечивающей решение командирских задач, мощного быстродействующего торпедно-ракетного вооружения обеспечивает мировой приоритет кораблей этого класса в области неатомного подводного кораблестроения.

Особенностью пр. можно назвать его большой потенциал в части модернизационных работ, которые проводятся по желанию заказчика. При этом именно ПЛ пр. 636 остаются высококонкурентоспособными по соотношению показателей «боевая эффективность – цена» на мировом рынке вооружений неатомных подводных лодок.

Первая неатомная подводная лодка четвертого поколения, пр. 677 («Лада»), вобрала в себя последние достижения отечественного кораблестроения. В ходе ее строительства научно-исследовательскими институтами и предприятиями оборонно-промышленного комплекса России было выполнено более двухсот научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию уникального оборудования,



Церемония закладки ДЭПЛ «Новороссийск» проекта 636.3 для ВМФ РФ

предназначенного специально для данной ПЛ. На головном корабле установлено 130 образцов новой техники. Среди новейших разработок – малогабаритные малозумные комплексы радиоэлектронного вооружения с минимальным энергопотреблением, современные образцы корабельного оборудования и нового высокоточного оружия. Опытная эксплуатация головного заказа – ПЛ «Санкт-Петербург» – открывает путь к дальнейшему совершенствованию подводных лодок пр. «Лада» в целях создания серии НАПЛ, которые уже в ближайшем будущем должны усилить подводные морские силы общего назначения ВМФ России.

История экспортного подводного кораблестроения в нашей стране свидетельствует о том, что именно субмари-

ны, построенные на «Адмиралтейских верфях», заложили в свое время основу подводных флотов таких стран, как Индия, Куба, Иран и Ливия. ПЛ «Кальвари», построенная адмиралтейцами в 1967 г. по заказу Индии, стала первой в СССР экспортной подводной лодкой.

Традиции военно-технического сотрудничества верфи продолжают развиваться и в новых экономических условиях. Сегодня полным ходом идет строительство очередной экспортной серии из шести ПЛ пр. 636, которая послужит основой создания подводных сил

страны-заказчика. Контракт на ее строительство был подписан в декабре 2009 г., а в августе 2010 г. состоялась закладка первой ПЛ. В настоящее время в производстве находятся уже три подводные лодки, первая из которых будет передана заказчику в 2013 г. Работа идет в соответствии с графиком, срок завершения строительства серии – 2016 г., окончания несения гарантийных обязательств – 2017 г. Комплектация заказа (установка нового оборудования), как и на предыдущих ПЛ проекта, происходит по желанию заказчика.

Новым в исполнении этого контракта является комплекс мероприятий по организации обучения экипажей иностранного заказчика обслуживанию и эксплуатации подводных лодок. Ранее эта учеба проводилась по линии Министерства обороны, но в 2009–2010 гг. при строительстве серии из двух экспортных ПЛ пр. 636 функции головного исполнителя по теоретическому обучению, корабельной и плавательной практике иностранных экипажей были переданы промышленности – ОАО «Адмиралтейские верфи». Данное направление работы было успешно освоено специалистами предприятия, что позволило включить аналогичные обязательства в контракт на строительство очередной серии ПЛ для нового иностранного заказчика.

В 2010 г. на верфи начато строительство серии ДЭПЛ модернизированного пр. 636, специально доработанного ЦКБ МТ «Рубин» в соответ-



ПЛ проекта 636 на параде ВМФ



ПЛ проекта 677 «Санкт-Петербург» на параде ВМФ

ствии с требованиями ВМФ России. Головная ДЭПЛ серии – «Новороссийск» для Черноморского флота РФ – была заложена в августе 2010 г. Срок сдачи заказа – 2013 г. Строительство субмарины ведется прогрессивным модульно-агрегатным методом с применением информационных технологий, а также с использованием передовых технологий по сборке и сварке корпусных конструкций, монтажу систем и оборудования.

В постройке находится корабль-спасатель для ВМФ России пр. 21300 «Игорь Белоусов». Судно подобного класса и назначения строится впервые в отечественном кораблестроении. Уникальное судно, предназначенное для спасения экипажей с терпящих бедствие подводных лодок, будет нести современной аппарат для спасения подводников – «Бестер», способный работать на глубинах до 500 м.

На борту судна будет установлен бортовой глубоководный комплекс ГВК-450 с семью барокамерами, позволяющий проходить режим декомпрессии членам спасенного экипажа. Судно-спасатель предназначено для выполнения большого спектра задач и одинаково эффективно сможет работать как в интересах ВМФ, так и в интересах народного хозяйства.

В марте текущего года в док-камере ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова успешно прошел первый этап гидравлических испытаний глубоководного аппарата «Бестер», строительство которого завершается на верфи. Полным ходом идет формирование корпуса спасателя, спуск которого запланирован на конец 2012 г.

Строительство кораблей данного пр. может стать перспективным направлением не только для отечественного флота, но и для флотов государств, в которые Россия экспортирует свою продукцию.

Немаловажной частью работы предприятия является сопровождение ранее построенных заказов. У верфи есть все необходимые лицензии по линии военно-технического сотрудничества, и работа предприятия в этом направлении вписывается в международную практику сопровождения жизненного цикла подводных лодок (гарантийное обслуживание, ремонт, модернизация, формирование и обеспечение поставок ЗИПа, оказание услуг).

При этом ОАО «Адмиралтейские верфи» – одно из немногих предприятий страны, имеющее лицензии на строительство и ремонт военной техники, а также поставку оборудования и ЗИПа по прямым контрактам: завод–инозаказчик (без посредников) по линии военно-технического сотрудничества.



Сервисное обслуживание ранее построенных ПЛ проекта 636

«Адмиралтейские верфи» – первое из предприятий отечественного судостроения, которое создало и внедрило электронную версию информационной поддержки послепродажного обслуживания кораблей ВМФ России и экспортных заказов.

На предприятии разработан и передан в промышленную эксплуатацию программный комплекс интерактивной электронной документации для ДЭПЛ «Санкт-Петербург». Этот комплекс является одним из вариантов реализации базовых принципов построения системы интегрированной логистической поддержки, создание которой является в последние годы одной из наиболее актуальных информационно-технических проблем.

Разработаны и переданы иностранным заказчикам электронные каталоги запасных частей ПЛ пр. 636.

«Адмиралтейские верфи» первыми заключили прямой контракт с одним из иностранных заказчиков на сервисное обслуживание ранее построенных ПЛ пр. 636. В настоящее время планируется продолжение этого направления работы с всем иностранными заказчикам.

В 2010 г. ОАО «Адмиралтейские верфи», так же как и в предыдущие годы, успешно выполнило все договорные обязательства в части ремонта и сервисного обслуживания ранее построенных ПЛ, включая поставки запасных изделий и принадлежностей, как под эгидой «Рособоронэкспорта», так и в рамках самостоятельной внешнеэкономической деятельности.

В настоящее время на предприятии сформирован и успешно реализуется портфель заказов на строительство подводных аппаратов до 2017 г. Ведется поиск новых потенциальных заказчиков и подписание контрактов на строительство ПЛ пр. 636 и 677 «Амур».

ОАО «Адмиралтейские верфи» – одно из крупнейших производственных предприятий Санкт-Петербурга. При численности производственного персонала в 0,4% от общего количества занятых в экономике города, верфи создают почти 1% валового продукта региона.

В настоящее время технические возможности предприятия и наличие высококвалифицированного кадрового состава позволяют предприятию одновременно строить серии ПЛ для обновления Российского ВМФ и для ВМС ряда иностранных государств.

Коллектив верфи всегда отличали универсальность, профессионализм, умение работать на опережение и научный подход к организации всех сторон жизни предприятия. Сегодня ОАО «Адмиралтейские верфи» готовы к выполнению новых подводных заказов. ■

Шестидесятые и семидесятые годы XX столетия отмечены бурным развитием кораблестроения в нашей стране. Все проектные бюро, исследовательские институты и судостроительные предприятия были загружены заказами отечественного флота. Новейшие разработки в области кораблестроения обеспечивали создание кораблей и катеров как традиционных типов, так и ранее не применявшихся схем. Это прежде всего амфибийные катера на воздушной подушке, катера на глубоко погруженных подводных крыльях, экранопланы.



Катер на АУПК «Тайфун»



Катер на АУПК «Ураган»



Скеговый катер на ВП «Стрелет»



Скеговый катер на ВП «Икар-2»

К сожалению, по разного рода причинам не все разработки были приняты к серийному производству. В их числе – проект пассажирского катера на воздушной подушке «Скат-А», пассажирский катер на автоматичес-

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОРАБЛЕЙ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ СКЕГОВОГО ТИПА

В.Г. Гаврилов, гл. конструктор направления, ОАО ЦМКБ «Алмаз», контакт. тел. (812) 373 6587

ки управляемых подводных крыльях «Тайфун» и ударный корабль на автоматически управляемых подводных крыльях «Ураган», малые глиссирующие катера-катамараны «Икар-1», в том числе катер «Чайка» с носовым подводным крылом между лодок, разъездные и патрульные катера на воздушной подушке скегового типа на базе большой самоходной модели «Икар-2», высокоскоростной катер на воздушной подушке скегового типа «Стрелет». Зачастую эти разработки являлись уникальными, не имевшими аналогов, возможно, в силу своей нестандартности и неподготовленности заказчика к принятию прогрессивных технических решений, и не были восприняты.

В середине 70-х гг. ЦМКБ «Алмаз» получило заказ от ВМФ на создание малого ракетного корабля «Сивуч». Этот проект рассматривался в двух вариантах: амфибийный катер на ВП и катер на ВП скегового типа. Заказчик выбрал для дальнейшей разработки последний вариант. Главным конструктором проекта был утвержден Л.В. Ельский. Приоритет, отданный скеговому кораблю, не означал, что амфибийный вариант никуда не годился. На самом деле он был разработан на высоком техническом уровне, в дальнейшем на его основе создали знаменитый «Зубр».



Главный конструктор Л.В. Ельский



Скеговый КВП «Сивуч»

Ударный скеговый корабль, обладающий высокой скоростью, позволяющий ему выходить на позицию ракетного удара в том числе на волнении. Разработка технического проекта началась



Амфибийный КВП «Зубр»

в 1976 г. с широкого круга поисковых работ. В кратчайшие сроки следовало решить ряд сложнейших технических проблем, к которым относились:

- обеспечение многорежимности движения (корабль должен двигаться на режимах от малой скорости, как обычный водоизмещающий катамаран, до высоких скоростей выхода в атаку на ВП);

- создание движительного комплекса, обеспечивающего двухрежимность движения корабля;

- создание нагнетательного комплекса, обеспечивающего его повышенную живучесть и возможность экономического режима;

- разработка устройства уборки гибких ограждений ВП при движении корабля в водоизмещающем режиме;

- обеспечение устойчивой работы движителей на всех режимах движения, исключающей забросы оборотов движителей от прорыва к ним воздуха из ВП;

- обеспечение стойкости конструкций корабля, корпус которого изготовлен из легких сплавов, к воздействию газовой струи стартующих ракет;

- обеспечение поперечной прочности корабля и прочности на скручивание при движении на волнении.

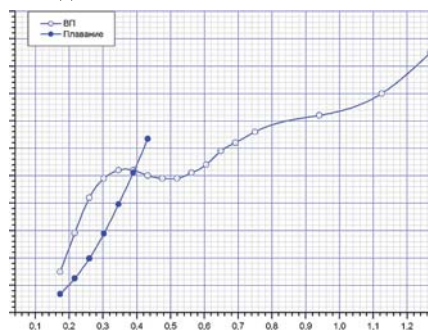
Общая компоновка корабля и размеры бортовых скегов позволяли ему безопасно двигаться на плаву с клиренсом на волнении до 5 баллов. При включении нагнетателей площадь ВП обеспечивала кораблю значительную разгрузку и возможность достижения скоростей более 50 уз. Кроме того, возможны были и промежуточные режимы движения с уменьшенной подачей воздуха в зону ВП. Это свойство корабля называется *многорежимностью движения*, которое не реализовано ни на одном другом корабле в мире.

Для решения перечисленных задач силами ЦМКБ «Алмаз» был проведен комплекс испытаний буксируемых моделей на открытом водоеме, изготовлена уникальная разрезная модель корабля для определения внешних сил на корпусе. Почти одновременно для отработки основных характеристик движения и, главное, управляемости начались испытания малой самоходной модели «Икар-1».

В 1979 г. начались испытания большой самоходной модели «Икар-2». Результаты ходовых и особенно мореходных испытаний позволили решить ряд проблем принципиального характера: определить линию замыва внутренних бортов скегов, оценить устойчивость корабля на ходу и, главное, решить проблему прорыва воздуха из зоны ВП к гребным винтам.

Как и предсказывали специалисты и научные консультанты, в положении на ВП с началом движения и при разгоне, особенно в области «горба сопротивления» движению, к гребным винтам начинал прорываться воздух. Это приводило к импульсным повышениям (забросам) оборотов винта и двигателя, которые иногда доходили до величин сбрасывания автомата защиты двигателя от превышения оборотов. Кроме того, прорыв воздуха под скег вызывал попадание воздуха через кингстоны в систему охлаждения двигателей и, соответственно, серьезные срывы и перебои работы систем и двигателей. Для ликвидации этого эффекта на киле скегов установили дополнительные вертикальные кили значительной высоты и протяженности. Однако они кардинально не повлияли на степень прорыва воздуха к винтам, при этом увеличив сопротивление движению.

Решение проблемы пришло не сразу и поразило всех своей простотой. Начальник испытательной партии принял решение полностью отказаться от дополнительных килей, а движение модели начинать при самой малой подаче воздуха в ВП и затем увеличивать ее по мере увеличения скорости хода. Исходя из имевшегося до этого опыта создания амфибийных катеров на ВП, сначала предусматривался полный подъем на подушку и лишь после – движение.



Испытания «Икара-2» (СМ-02) показали, что опыт эксплуатации амфибийных катеров совершенно неприменим для скеговых, на которых необходима так называемая порционная подача воздуха в ВП по мере набора скорости движения до загорбового режима движения, когда подача воздуха в ВП осуществляется в полном объеме. Кроме того, подобный подход к режиму разгона скегового корабля сглаживает горб сопротивления и облегчает разгон. Этот факт был подтвержден дальнейшими испытаниями большой самоходной модели.

Они подтвердили удивительно высокие мореходные качества скеговых КВП: катер «Икар-2», имея водоизме-

щение менее 50 т, ходил на волнении до 3 баллов включительно с минимальной потерей хода.

На один из мореходных выходов для ознакомления с моделью и ее ходовыми свойствами были приглашены командир береговой базы пограничных катеров В.И. Сычев и несколько командиров пограничных катеров пр. 205П, имевших большой опыт морской практики. Погода была свежей, волнение в открытых районах составляло 3 балла. Когда катер прибыл в район испытаний, по желанию гостей был дан ход около 30 уз против волны, опытные командиры больших катеров стали слегка приседать при встрече с каждой волной. Руководитель испытаний спросил, зачем они это делают, и получил ответ: «Такой маленький катер на таком ходу и волнении должен получать сильные удары в корпус, в ожидании которых моряки и подгибают слегка ноги». Они были приятно удивлены мягкостью хода против волны и попросили пройти под разными углами к фронту волн. Результат был тот же. По возвращении в базу все дружно отметили, что катера пр. 205П в этих же условиях идут по сравнению с катером «Икар-2» более жестко, хотя «205-П» тяжелее «Икара-2» более чем в 5 раз.

В ходе длительных анализов различных вариантов двигательного движительного комплекса, обеспечивающего многорежимность движения корабля «Сивуч», была принята дизель-газотурбинная ГЭУ, позволяющая идти в режиме экономического хода под дизелями и на полном ходу при совместной работе газовых турбин и дизелей. При этом для движения на высоких скоростях предусмотрены поворотные опускные колонки с гребными винтами, приводимыми в движение газовыми турбинами.

Два центробежных нагнетателя двухстороннего всасывания и комплекс специальных закрытий, установленных на «Сивуче», подают воздух в ВП попеременно от любого нагнетателя, обеспечивая экономические режимы движения на ВП и живучесть нагнетательной установки. Схема подачи воздуха в ВП, при которой осуществляется регулирование подачи от двух нагнетателей или от одного любого из них с помощью специального устройства, уникальна по своей конструкции и до сих пор не имеет аналогов в мире.

Проблема уборки гибких ограждений ВП при движении корабля в водоизмещающем режиме была решена по типу эскалатора. Гибкие ограждения (ГО) затаскиваются внутрь корабля в перевернутом положении и обеспечивают доступ к ним в этом положении

для производства профилактических и ремонтных работ. Хранение ГО в поднятом положении на малых ходах и особенно при стоянке корабля резко повышают ресурс самих ограждений. Подобных решений мировая практика кораблестроения также не имела.

Совокупность нестандартных технических решений, принятых на корабле, сделала его уникальным. Для российского флота корабли пр. 1239 являются его гордостью. Их способность нести мощное вооружение со скоростью более 50 уз и использовать свое оружие на волнении до 6 баллов включительно – непревзойденный результат. Нанесение ударов в таких условиях может обескуражить любого противника.

Малый ракетный корабль «Сивуч» создавался в 80-е гг., оба корабля этого проекта, «Бора» и «Самум», были сданы в начале 90-х с большими сложностями. Тем не менее ВМФ их принял. Сегод-



Малый ракетный корабль проекта «Сивуч»

ня, уже превывсив установленные сроки службы, они находятся в строю, несут дежурства и остаются флагманами отечественного ВМФ в своем классе. За прошедшие 20 с лишним лет зарубежное кораблестроение так и не создало подобных кораблей, несмотря на многочисленные попытки. Построенные за рубежом скеговые корабли и катера лишь отчасти повторяют некоторые свойства «Сивуча».

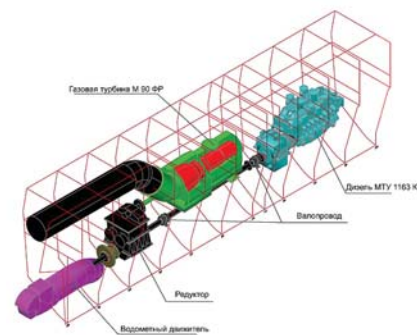
Все приведенные характеристики и убедительный положительный опыт эксплуатации кораблей проекта «Сивуч» позволяют рассмотреть вопрос о расширении этих преимуществ.

Сохраняя основные принципиальные технические решения, «обкатанные» на «Сивуче» (гидродинамические обводы корпуса, принцип подачи воздуха в зону ВП, схему уборки гибких ограждений, дизель-газотурбинную ГЭУ), материал основного корпу-

са нового корабля может сохраняться, как и на прототипе, легкосплавным. Надстройка нового корабля может быть выполнена из трехслойных композитных конструкций, успешно продемонстрировавших свои преимущества на корвете «Стерегущий». Такая надстройка дает преимущества при выборе компоновочных решений и при экономии массы конструкций, поднятых высоко над центром масс корабля.

Принципиальное размещение устройства уборки ГО, которые позволяют обеспечить многорежимность движения корабля и ремонтпригодность самих ГО, можно сохранить по типу «Сивуча».

Схема компоновки нагнетательной установки корабля и принципы компоновки ГЭУ должны быть сохранены, однако схему движительного комплекса следует изменить принципиально.



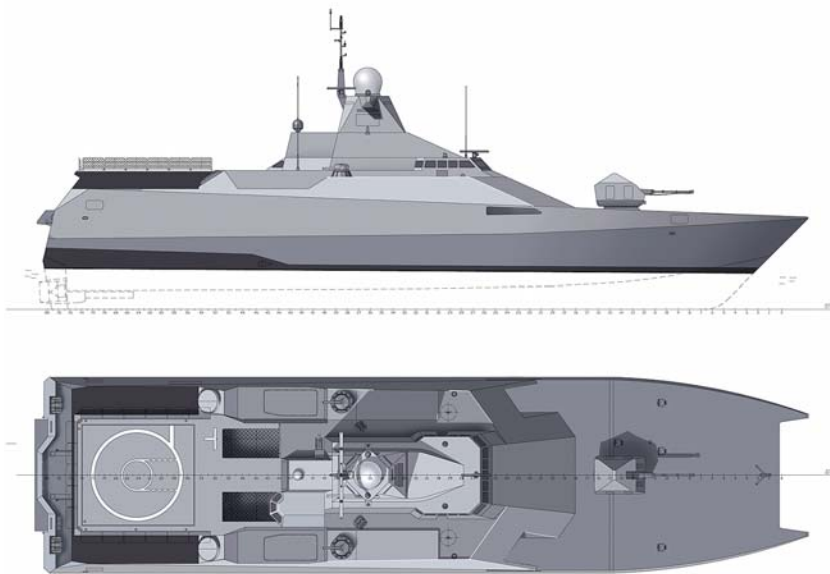
Опираясь на опыт эксплуатации «Сивуча», в ОАО ЦМКБ «Алмаз» рассмотрены альтернативные варианты компоновки движительного комплекса и наиболее подробно применение на новом корабле водометных движителей.

Применение водометных движителей резко упрощает схему обеспечения движения корабля и принципы управления движением во всем диапазоне режимов движения корабля.

Угловые поворотные колонки при движении на экономических ходах поднимались из воды и загромождали кормовую часть корабля, создавая определенные компоновочные и эксплуатационные сложности. Отказ от громоздких поворотных колонок и переход на водометные движители позволяет освободить кормовую часть верхней палубы нового корабля и применить на нем легкие возвращаемые летательные аппараты типа вертолетных дистанционно управляемых летательных аппаратов или легких вертолетов. Для этого в корме может быть размещены ВППл и легкий раздвижной ангар.

На основе корпуса и ЭУ, включающей нагнетательную установку и дигательно-двигательный комплекс, может быть создана «платформа» служащая основой целого ряда кораблей, на которых преимущества отработанной гидродинамической схемы скеговых кораблей проявятся в наивысшей степени.

Высокая скорость, в том числе на развитом волнении, и повышенная стабилизация платформы при движении резко повышают эффективность решения задач по нанесению ракетных ударов по кораблям противника. Выход в район выполнения задачи возможен в режиме катамарана, а выход – в режим нанесения удара и уклонение от контрудара – выполняться на высоких скоростях, которые могут явиться определяющим фактором успешного выполнения задачи. Опыт эксплуатации кораблей проекта «Сивуч» подтверждает высокую эффективность нанесения ракетных ударов высокос-



Общий вид возможной модификации скегового корабля на ВП

коростными мореходными кораблями. Применение ДПЛА при решении ударных задач, в свою очередь, повышает эффективность решения задачи и безопасность ее выполнения для корабля.

Общепринятая практика судовождения и выполнения задач кораблями ВМФ сопряжены, в частности, с определенным риском, который иногда приводит к возникновению аварийных ситуаций. В отдельных случаях решающим фактором спасения людей и техники в критической ситуации является время прибытия помощи. При этом высокая скорость и мореходность скегового корабля могут быть определяющими факторами успеха спасательной операции. Такой корабль может оказать первую экстренную помощь при спасении и эвакуации людей, поддержании техники до прибытия тяжелых средств оказания помощи.

Конструктивной особенностью корпуса скегового корабля является наличие двух горизонтальных килей на всю длину корпуса. В сочетании с компоновкой водометных движителей, расположенных выше килевой линии, горизонтальные кили позволяют ему становиться в прибрежной полосе или на мелководье на свои кили, как на стационарные опоры, а в режиме на ВП – преодолевать отмели и приближаться к необорудованному берегу до глубин 1 м. На этой глубине корабль может сесть на свои кили и осуществлять погрузочно-разгрузочные или спасательные операции.

Высокая скорость движения в сочетании с выдающейся управляе-

мостью корабля позволяют ему принимать эффективное участие в операциях по подготовке и огневой поддержке высадки морских десантов с использованием реактивных установок залпового огня. Учитывая малую осадку на ВП и возможность приблизиться к береговой черте с малыми глубинами, корабль можно использовать как скоростное средство высадки десанта, диверсионных групп или групп корректировки огня.

Двухрежимность движения скегового корабля дает возможность рассмотреть вопрос о создании на базе его «платформы» ОВР, ПЛО и ПМО, основной рабочий режим которых сопряжен с движением на малых скоростях, а режимы высоких скоростей используются для перехвата или срочного перехода в заданный район. Наличие широкой транцевой кормы создает возможность организации модульной замены оборудования «платформы», что определяет специализацию корабля.

Обобщая высказанное, можно сформулировать основные направления создания КВП скегового типа на новом качественном уровне. На базе опыта создания и эксплуатации МРКВП «Сивуч» возможно создание ударных ракетных кораблей, кораблей огневой поддержки десанта, спасательных кораблей быстрого реагирования, десантно-высадочных, кораблей ОВР, ПЛО и ПМО, специальных и малых кораблей различного назначения.

Научно-технический задел ОАО ЦМКБ «Алмаз» дает основание для

более широкого подхода к созданию скеговых КВП. Проектные проработки, выполненные по результатам испытаний самоходной модели «Стрепет», подтвердили возможность постройки кораблей водоизмещением около 1000 т со скоростями полного хода до 100 уз и более. Скоростные качества и боевые возможности таких кораблей становятся соизмеримыми с характеристиками экранопланов, атаки которых не обнаруживаются со спутников. При этом следует учесть, что эксплуатация скеговых кораблей по сравнению с экранопланами несравнимо проще, дешевле и надежнее.



Высокоскоростной скеговий КВП



Скоростной паром RSES-500

Использование наработок при создании КВП скегового типа также возможны при создании коммерческих грузопассажирских скоростных мореходных судов, способных эффективно обслуживать внутренние и внешние морские линии. Так, еще в конце 90-х гг. в ЦМКБ «Алмаз» был разработан проект скоростного парома скегового типа RSES-500 для эксплуатации на основных грузопассажирских коммуникациях Балтийского моря. Тогда реализовать проект было невозможно из-за экономических сложностей.

Отсутствие в настоящее время государственной поддержки развития завоеванного РФ мирового приоритета в области создания малых высокоскоростных кораблей приведет со временем к отставанию в этой области и необходимости опять догонять ведущие морские державы по оснащению ВМФ легкими высокоэффективными кораблями. ■

Территория, на которой в настоящее время располагается ОАО «Морской завод «Алмаз» в Петербурге, в 1899 г. была приобретена Обществом Финляндского легкого пароходства (ОФЛП), осуществлявшим в те далекие годы практически все внутригородские сезонные перевозки пассажиров на небольших паровых катерах. ОФЛП на приобретенной территории организовало базу зимнего отстоя своих судов, бункеровки их углем.

С этой целью ОФЛП в 1900 – 1903 гг. построило причальную стенку, угольные склады, а также шесть деревянных жилых домов для проживания персонала и кирпичное административное здание. В 1908 г. ОФЛП, исходя из потребностей судоремонта, построило также продольный слип для подъема судов и небольшие деревянные эллинги для размещения там ремонтируемых судов. Не ограничиваясь только ремонтом своих судов, ОФЛП на своей базе в Петербурге на Уральской ул., 19, построило и 16 (29) июня 1911 г. официально зарегистрировало механическую и деревообрабатывающую мастерские «для постройки и ремонта мелких судов и яхт». При этом механическая мастерская располагалась в каменном двухэтажном здании, а деревообрабатывающая – в деревянном двухэтажном здании.

Так, на Уральской, 19 начиналось судостроительное производство. Первой продукцией вновь открывшегося судостроительного производства стали два служебных катера «Чайка» и «Базис», построенные в 1911 г. В отличие



Катера «Базис» и «Чайка»

от паровых пассажирских судов ОФЛП они были оснащены двигателями внутреннего сгорания. Обшивка судов была набрана из досок красного дерева, поперечный набор состоял из деревянных и металлических шпангоутов. При водоизмещении около 12 т и двух двигателей по 40 л.с. катера развивали скорость

К 100-ЛЕТИЮ ОАО «МОРСКОЙ ЗАВОД «АЛМАЗ»

ОАО «Судостроительная фирма «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 235 4820

около 12 уз. Они были предназначены для перевозки деловых пассажиров. Испытательный рейс катера «Чайка» от Санкт-Петербурга до Аландских островов, проведенный в бурную осеннюю погоду 1911 г., показал его высокие мореходные качества.

В 1913 г. мастерские ОФЛП стали именоваться верфью ОФЛП. В 1914 г. с началом Первой мировой войны верфь получила большой заказ ГВИУ на изготовление первых в мире мотопонтонов. В 1917 г. заведующим верфью становится А.И.Павлов. Благодаря его энергии верфь не прекратила работу и после событий Октября 1917 г. В 1918 г. верфь национализировали, а в 1920 г. передали в ведение Северо-Западного речного пароходства (СЗРП). В 1922 г. к 5-й годовщине Октябрьской революции верфи присвоили имя Ф.Э.Дзержинского. До 1928 г. она находилась в ведении СЗРП и использовалась в основном для ремонта и зимнего отстоя судов СЗРП, а также катеров Финско-Ладожской флотилии Морпогранохраны. В 1928 г. на верфи осуществлялась достройка восьми стальных катеров типа «К-1» для морских пограничников. В 1928 г. СЗРП получило в свое распоряжение Ижорскую верфь (ныне – ОАО «Средне-Невский завод») и начало работы по ее реконструкции. Заниматься одновременно реконструкцией верфи, которая к этому времени обветшала, у СЗРП не было средств. Поэтому в конце 1928 г. пароходство приняло решение о закрытии верфи.

Морские пограничники, остро нуждавшиеся в судоремонтной базе, вышли в правительство с предложением о передаче верфи в их распоряжение. Их ходатайство было удовлетворено, и с 1929 г. верфь им. Дзержинского вошла в структуру Морпогранохраны в качестве судоремонтной базы. В 1929 г. сюда перебрался и штаб Финско-Ладожской флотилии. За довольно короткое время морские пограничники здесь построили два кирпичных эллинга, в одном из которых разместился корпусный цех. Кроме того, на Уральской, 19 была сформирована Окружная база ОГПУ №1 для материально-технического снабжения пограничников Северо-Западного региона. Вскоре здесь было построено четырехэтажное здание казармы для зимнего проживания команд пограничных катеров и Управления. В 1935 – 1937 гг. Финско-Ладожская флотилия была раз-

делена на несколько самостоятельных отрядов. С этого времени на Уральской стали базироваться штаб и Управление 34-го морпогранотряда, Окружные судоремонтные мастерские и Окружной склад №101 шкиперского имущества и вооружения. В 1941 г. на базе мастерских и склада был сформирован Ленинградский морской пограничный порт.

С началом Великой Отечественной войны мастерские на Уральской, 19 были переданы в подчинение Лентыла Краснознаменного Балтийского флота, и всю войну здесь ремонтировались побывавшие в боях катера типов «ЗК», «МО-2» и «МО-4». После войны мастерские были возвращены Морпогранохране.

В связи с увеличением объема судоремонтных работ мастерские в 1947 г. получили статус Судоремонтного завода. В 1951 г. здесь был построен моторный цех для ремонта двигателей «М-50». В 1959 г. завод построил три стальные самоходные десантные баржи «Армеец» для пограничников Дальнего Востока.

В начале 60-х гг. XX в. в СССР началось сокращение армии и флота. Под эту кампанию попал и Судоремонтный завод Морленпогранпорта погранвойск КГБ Ленинградского округа. В июне 1960 г. он был передан Управлению рыбной промышленности (УРП) Ленсовнархоза, а затем, в октябре, – Госкомитету Совмина СССР по судостроению в качестве опытного завода ЦКБ-19 (с 1963 г. после объединения с ЦКБ-5 – ЦМКБ «Алмаз») и получил наименование Опытного Морского завода (ОМЗ). С 1966 г. он стал именоваться Невским Морским заводом.

Начало 60-х гг. было связано с повышенным интересом как у нас в стране, так и за рубежом к судам на подводных крыльях (СПК) и воздушной подушке (СВП). Состояние научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ к этому времени в нашей стране позволяло переходить к постройке опытных натурных судов этого типа. Но для этого требовалась соответствующая производственная база. Невскому Морскому заводу и предстояло стать такой базой. С этой целью требовалось перепрофилировать предприятие.

Возможности корпусного цеха завода, ориентированного ранее на судоремонт, были ограничены. Это показала постройка пяти сейнеров проекта 390А

типа «Смена», заложенных в 1960 г. для УРП Ленсовнархоза.



Сейнер типа «Смена»

Для строительства судов с динамическими принципами поддержания (СДПП) предстояло освоить работу с легкими алюминиево-магниевыми сплавами для корпусов, с нержавеющей сталью для подводных крыльев (ПК), научиться при сварке ПК выдерживать допуски на уровне машиностроительных изделий. Началось техническое перевооружение завода. Оно осуществлялось без остановки производства, параллельно с освоением новых технологических процессов, переориентацией цехов на новые производства. Остро ощущался недостаток площадей. Так, например, плаз для первых судов пришлось разбивать на антресолях эллинга.

Первыми работами по новым направлениям стала постройка многочисленных моделей СПК и СВП для испытаний в бассейнах, кавитационных и аэродинамических трубах, на открытом водоеме. В 1961 г. завод приступил к строительству представительского судна на подводных крыльях (СПК) «Стрела-2».



СПК «Стрела-2»

Впервые предприятие осваивало строительство корпуса из легкого сплава клепаной конструкции и изготавливало ПК из нержавеющей стали. Главным строителем судна был А.А.Хитин, ответственным сдатчиком – Е.Л.Марьясин. В 1963 г. судно в Одессе было сдано заказчику – Одесскому морскому пароходству. В следующем году было построено второе СПК «Стрела-3» для Таллинского морского пароходства.

В эти же годы развернулись работы и по созданию СВП: в 1962 г. и в 1963 г. были построены две большие самоходные модели МК-01 и МС-01 для проведения обширных испытаний

в пос. Локса (Эстония). Эти модели потребовались в связи с отсутствием методических материалов по расчетам прочности, ходкости и управляемости танкодесантного СВП, техническое задание на создание которого выдал ВМФ. Доковый или сдаточный цех завода пришлось срочно укомплектовать командами для эксплуатации МК-01 и МС-01.

В процессе технического перевооружения предприятия в 1969 г. был введен в строй новый эллинг размером 36×72 м, оборудованный 30-тонным мостовым краном с высотой подъема до гака около 20 м. В 1968 г. на Невском Морском заводе силами молодых специалистов был построен пассажирский амфибийный катер «Бриз», а в 1969 г. – амфибийный десантный катер «Скат».

Параллельно с этим в ЦМКБ «Алмаз» под руководством Ю.Ю.Бенуа велась разработка проекта десантного КВП «Джейран». Корабль предназначался для доставки со скоростью 50 уз на необорудованный берег двух средних танков. В 1967 г. началось строительство этого корабля, завершившееся в 1970 г. По результатам успешной опытной эксплуатации головного КВП «Джейран» ВМФ заказал Минсудпрому серию из 20 таких кораблей.



КВП «Джейран»

Невскому Морскому заводу выпала честь постройки в 1968–1969 гг. первого отечественного судна на глубокопогруженных автоматически управляемых подводных крыльях (АУПК) «Тайфун». Благодаря энтузиазму главного инженера НМЗ Ю.Н.Стуколкина при его постройке было применено много нестандартных технологических процессов, позволивших сэкономить время и трудоемкость постройки.



АУПК «Тайфун»

В 1970 г. завод вошел в состав Производственного объединения «Алмаз»

как производственная единица №2. На Уральской, 19 сосредотачивалось производство по постройке КВП. Развивая это направление, завод в 1972 – 1974 гг. построил два танкодесантных КВП «Кальмар», предназначенных для перевозки одного танка и приспособленных для размещения в трюме большого десантного корабля «Иван Рогов». Для этого КВП участок электроавтоматики изготовил компактные пульты управления движением, которые выгодно отличались от пультов, предлагавшихся специализированными НИИ. На предприятии было освоено также производство системы управления главными двигателями КВП «Орион», которая включала как электрическую, так и гидравлическую части. Одновременно наращивались мощности завода по строительству КВП «Джейран». Причем по мере освоения их строительства в конструкцию «Джейранов» вносились существенные усовершенствования. Так, от клепаной конструкции перешли на сварную, что привело к значительному снижению трудоемкости постройки. Но это потребовало развития соответствующих мощностей и подготовки кадров. В 1974 г. был введен в строй пятиэтажный корпус, на первом этаже которого разместились сварочный участок мелких корпусных конструкций и участок изготовления и испытаний труб, на втором этаже – столовая, на четвертом – управленческий центр, на пятом этаже – плаз. В 1978 г. было завершено строительство котельной, а в 1981 г. введен в строй второй эллинг размерами 36×72 м.

В 1983 г. в этом эллинге был заложен самый крупный в мире десантный КВП «Зубр», предназначенный для доставки трех средних танков на расстояние до 300 миль со скоростью 60 уз. По уровню своих конструктивных решений он во многом превосходил своего предшественника КВП «Джейран». До сих пор КВП «Зубр» остается самым крупным и совершенным в мире. Подтверждением последнего является приобретение Грецией у России на рубеже XX – XXI вв. трех кораблей типа «Зубр».



Корабль «Зубр»

В 1984 г. на заводе был принят в эксплуатацию блок, включающий

монтажный и гальванический участки и трехэтажную бытовую пристройку. Последним объектом реконструкции стал механический цех. Его, правда, из-за перехода в 90-е гг. к рыночной экономике не удалось переоснастить полностью, но, тем не менее, объем выполненных в 70–80-е гг. работ по техническому перевооружению производства позволяет в XXI в. строить современные корабли. В начале 90-х гг. в связи с отсутствием финансирования прекратилось строительство КВП «Зубр». Завод, называвшийся в это время производством №8 ЛСО «Алмаз», стал осваивать производство рассадопосадочных машин, а затем природоохранных судов типа «Экопатруль». В 1995 г. первое природоохранное судно «Экопатруль-1» было передано заказчику. Оно ведет экологический мониторинг акватории Финского залива, Невы и Ладоги. За осуществление этого проекта генеральный директор ЛСО «Алмаз» А.П. Королев в 1996 г. стал лауреатом Премии Правительства РФ.



Судно «Экопатруль»

После акционирования в 1993 г. ЛСО «Алмаз», получившее статус ОАО «Судостроительная фирма «Алмаз», учредило в 1997 г. дочернее предприятие ОАО «Морской завод «Алмаз». Генеральным директором его был назначен Н.Н. Ивакин. Завод продолжил строительство судов экологического мониторинга. В рамках этой программы в 1999 г. был сдан заказчику катамаран «Экопротектор». В это же время на Морском заводе «Алмаз» были построены яхты «Еуго 38» и «Ruteburg 35». В 2001 г. здесь было построено еще одно судно экологического мониторинга, предназначенное для акватории дельты Волги и прилегающих районов Каспия. В 2001 и 2003 гг. в порядке кооперации с ОАО «СФ «Алмаз» были изготовлены легкосплавные корпуса надстроек КВП «Зубр», строившегося для Республики Греция.

К значительным достижениям предприятия следует отнести постройку в 2002 г. скоростного пассажирского парома Superfoil 40 «Линда», предназначенного для линии Таллин–Хельсинки. Судно катамаранного типа с системой носовых подводных крыльев и кормовых автоматически управляемых

интерцепторов предназначено для перевозки 300 пассажиров со скоростью 55 уз на тихой воде и 40 уз на волнении до 5 баллов.



Паром «Линда»

В 2002 – 2003 гг. по проектам ООО «АГАТ Дизайн Бюро» на предприятии были построены катера проектов А-66, А-67, А-99-1 для нужд Морпогранохраны, ФСБ, МВД, а также для активного отдыха и представительских целей. Они обеспечивают перевозку 6–7 человек спецперсонала со скоростью до 40 уз.

В 2004 и в 2008 гг. по проектам упомянутого бюро на заводе были построены катера проектов А-125 и А-125М-1. Катер проекта А-125 развивает скорость хода 43 уз и берет на борт спецперсонал в количестве 12 человек, а катер проекта А-125М-1 развивает скорость 57 уз и берет на борт 6 человек. Эти катера могут решать широкий спектр задач: патрулирование и охрана государственной и таможенной границ, перехват и задержание судов-нарушителей, охрану морских портов и береговых инженерных сооружений, участие в поисково-спасательных операциях, а также активный отдых.



Катер проекта А-125

В 2005 и 2006 гг. по проекту ЦМКБ «Алмаз» на Морском заводе «Алмаз» были построены две представительские яхты «Хоста». Яхты предназначены для обслуживания членов Правительства РФ, проведения на их борту встреч и переговоров с российскими и зарубежными делегациями, для экскурсионных прогулок и отдыха на воде. При сравнительно небольшом водоизмещении (около 90 т) яхта оборудована тремя каютами для пассажиров, двумя закрытыми салонами, открытыми площадками для отдыха на верхней палубе и палубе надстройки.

Из другой продукции XXI в. следует назвать катер для сбора нефте-содержащих вод и разъездные катера пр. 21960.

В 2006 г. на заводе было заложено патрульное судно ледового класса

пр. 22120, предназначенное для контроля за выполнением в территориальных водах и зоне исключительных экономических интересов РФ плавающими там судами таможенного законодательства РФ. 22 декабря 2010 г. головное судно пр. 22120 было сдано заказчику – ПС ФСБ России. Для ОАО «Морской завод «Алмаз» постройка судна длиной 71 м и водоизмещением свыше 1000 т является большим достижением, несмотря на кооперацию при постройке с СФ «Алмаз». В 2011 г. заключен контракт на совместное с «СФ «Алмаз» строительство серийного судна пр. 22120.



Судно пр. 22120

В 2010 г. совместно с «СФ «Алмаз» на «Морском заводе «Алмаз» были построены два скоростных патрульных катера пр. 12200 «Соболь», разработанного ЦМКБ «Алмаз». Благодаря уникальной отечественной системе автоматически управляемых интерцепторов катер при водоизмещении около 60 т развивает скорость порядка 48 уз и обеспечивает мореходность свыше 4 баллов. Эксплуатация катеров типа «Соболь» Погранохраной ФСБ России показала их высокие эксплуатационные качества. В 2011 г. планируется сдача ПС ФСБ России еще двух катеров проекта «Соболь».



Катер «Соболь»

Динамика строительства катеров и судов на ОАО «Морской завод «Алмаз» в первом десятилетии XXI в. свидетельствует о непрерывном росте производства. В настоящее время здесь трудится свыше 300 человек.

ОАО «Морской завод «Алмаз» представляет собой современное производство, способное выпускать продукцию, конкурентоспособную на мировом рынке.

Отмечая 100-летний юбилей, желаем «Морскому заводу «Алмаз» успеха в деле оснащения отечественного ВМФ и зарубежных ВМС современными кораблями. ■

Кажется, совсем недавно, в 2003 г., в Санкт-Петербурге прошел первый Международный военно-морской салон (МВМС), но за эти годы он превратился в одну из ведущих мировых выставок морских вооружений и судостроения, приоритетную для кораблестроителей России. Надо отметить, что начиная с первого МВМС, где экспонировалось 19 отечественных кораблей и катеров, к четвертому их количество возросло до 26 ед., в том числе четыре иностранных.

Иностранные заказчики предпочитают закупать технику, уже прошедшую апробацию в действующих частях на флотах России, и МВМС служит достойной выставочной площадкой для показа и продвижения этой продукции, где можно увидеть и корабли, и стенды верфей, проектантов, ФГУП «Рособоронэкспорт».

И если в первом Салоне принимал участие эскадренный миноносец пр. 956 как прототип экспортных 956Э и 956ЭМ, поставленных верфью ВМС Китая, то одним из основных элементов экспозиции на третьем и четвертом Салонах стал разработанный уже в XXI в. ОАО ЦМКБ «Алмаз» и построенный «Северной верфью» головной корвет пр. 20380 «Стерегущий» – аналог перспективного экспортного корвета пр. 20382 «Тигр».

Представляется своевременным подвести промежуточные итоги деятельности «Северной верфи» между четвертым и пятым Салонами:

– В марте 2010 г. здесь был спущен на воду первый серийный корвет пр.20380 «Сообразительный», чей об-



Спуск корвета «Сообразительный»

лик притягивал взгляды посетителей выставки. При этом серийный корвет существенно превосходит головной по составу оружия и вооружений.

– В апреле 2011 г. был спущен на воду второй серийный корвет того же типа «Бойкий».

– В октябре 2010 г. спущен на воду головной фрегат пр. 22350 «Адмирал Флота Советского Союза Горшков» разработки ОАО «Северное ПКБ», яв-

«СЕВЕРНАЯ ВЕРФЬ» В ПРЕДДВЕРИИ САЛОНА

А.Б. Фомичев, генеральный директор
ОАО «Судостроительный завод «Северная верфь»,
контакт. тел. (812) 424 2914



Спуск фрегата «Адмирал Флота Советского Союза Горшков»

ляющийся прототипом экспортного пр. 22356; его достройка ведется в соответствии с графиком, а передача ВМФ будет осуществлена в 2012 г.

– В марте 2010 г. заложен первый серийный фрегат пр. 22350 «Адмирал Касатонов».

– В сентябре 2010 г. закончен ремонт и модернизация БПК пр.1155 ВМФ РФ «Вице-адмирал Кулаков». Завершения его ремонта на Северном флоте ждали

гит «Konj 2» по классификации НАТО, проектант – Зеленодольское ПКБ) и мало ракетного катера пр.1234Е (корвет «Nanucka 2» по классификации НАТО, проектант – ОАО ЦМКБ «Алмаз»), а также продолжение модернизации и ремонта следующих пар аналогичных кораблей.

В секторе гражданского судостроения можно выделить следующие события:



БПК пр. 1155 ВМФ РФ «Вице-адмирал Кулаков»

долгие годы, и после возобновления стабильного финансирования верфь в кратчайшие сроки, внедрив более ста модернизационных мероприятий, совместно с экипажем ввела корабль в режим постоянной боевой готовности. Корабль участвовал в учениях в Барцевом море и готов к дальнему походу.

Для военно-технического сотрудничества важнейшее значение имеет завершение в 2010 г. модернизации и ремонта первых двух кораблей ВМС АНДР – сторожевого корабля пр. 1159Т (фре-

Передача в 2010 г. норвежским фирмам «Siddis Skipper II AS» первого в России построенного «под ключ» судна снабжения буровых платформ пр. VS470PSV MkII. и «Solvik Hull Supplies AS» также построенного «под ключ» судна снабжения пр. VS485PSV в 2011 г.

Завершены ремонт и модернизация в конце 2010 г. экскурсионного пассажирского судна «Россия», принадлежащего транспортной службе Управления делами Президента РФ.



Судно снабжения буровых платформ пр. VS470PSV MkII



Судно снабжения буровых платформ пр. VS485PSV

Особо следует отметить успешное выполнение «Северной верфью» в 2010 г. поручения правительства России по проведению реставрационных работ на крейсере «Белфаст» в Великобритании. Работы выполнялись в память о



Крейсер «Белфаст» с новыми мачтами, р. Темза, Лондон

«северных конвоях» в канун 65-летия Победы как российский вклад в поддержание технического состояния крейсера. Сегодня это корабль-музей, стоящий на Темзе, в центре Лондона. Россия обязалась полностью за свой счет заменить проржавевшие грот- и фок-мачты крейсера. В годы войны «Белфаст» был флагманом флота союзников при проводке «северных конвоев». Решение выполнить эти работы силами «Северной верфи» было принято неслучайно – начиная с 1942 г., в конвоях принимали участие эсминцы, построенные на «Северной верфи»: «Грозный» (пр. 7, 1938 г.), «Гремящий» (пр. 7, 1939 г.), и

«Валериан Куйбышев» (типа «Новик», 1927), также эсминец «Карл Либкнехт» (типа «Новик», 1928), стоявший на ремонте в Архангельске и охранявший рейд. Кроме того, учитывалось то, что традиционно на верфи проходят ремонт многие корабли и суда. Мачты были изготовлены, доставлены в Лондон, в октябре 2010 г. монтаж мачт был закончен, что, несомненно, послужило повышению авторитета российского судостроения на мировом рынке.

Этот далеко не полный перечень событий за рассматриваемый период позволяет позиционировать «Северную верфь» как одно из наиболее динамично развивающихся судостроительных предприятий России. Что же позволяет верфи быть в лидирующей группе, постоянно усиливая свои позиции. По нашему мнению, в первую очередь это широчайшее внедрение компьютерных технологий на всех этапах производства. Расположение в Санкт-Петербурге основных проектантов – ОАО «Северное ПКБ» и ОАО ЦМКБ «Алмаз» – позволило взаимно интегрировать электронные пространства предприятий и использовать программные продукты FORAN и TRIBON, в которых работают конструкторские бюро. Создана система организационной и конструкторско-технологической поддержки производства на основе GALS-технологий (Continuous Acquisition and Life cycle Support). Верфь является единственной в стране, внед-

рившей 3D-моделирование в серийное производство и располагающее автоматизированным трубогибным производством на базе станков с ЧПУ, корпусным производством с универсальными механизированными коксовыми постелями, настраиваемыми по аналитическим данным. Широко используются на предприятии при выполнении ремонтных работ методики создания электронных 3D-моделей кораблей любых производителей, не имевших их ранее, с применением операции реинжиниринга на основе лазерных сканеров. Ремонтное производство органично вписано в единое электронное информационное пространство верфи.

Таким образом, верфь интегрирована в информационное пространство в режиме on-line, в котором задействованы все участники (заказчик – проектант – верфь – поставщики комплектующих изделий – эксплуатация и утилизация) жизненного цикла как нового изделия, так и прошедшего восстановительный ремонт с модернизацией.

Если резюмировать основные итоги работы верфи за прошедший период, то нужно выделить следующее:

- освоено серийное производство корветов пр. 20380 и его экспортной модификации пр. 20382;
- освоено серийное производство многоцелевых фрегатов пр. 22350 и его экспортной модификации пр. 22356;
- организовано современное ремонтное производство для военных кораблей постройки любых верфей и создание при этом системы обеспечения жизненного цикла в режиме on-line;
- освоено серийное производство судов-снабженцев морских буровых нефтегазовых платформ по передовым западным проектам.

В целях обеспечения конкурентоспособности предприятия в международном масштабе разработан план его модернизации, в котором использованы исследования и разработки, выполненные по заданию завода проектной фирмой «Союзпроектверфь», ЦКБ «Индикатор», а также ведущими европейскими разработчиками передовых судостроительных технологий «IMG» (Германия) и «VIANOVA» (Италия). План определяет пути поэтапной реконструкции и модернизации мощностей завода в зависимости от наращивания судостроительной программы без остановки действующего производства.

Загрузка производственных мощностей по заключенным контрактам составляет 75%, имеется резерв для строительства кораблей подобного класса. Общая численность работающих на заводе – 3500 человек. В пределах номенклатуры всех судостроительных специальностей 49% рабочих имеют высшие квалификационные разряды. В настоящее время более 20% работающих – молодые люди в возрасте до 30 лет, 50% – в возрасте от 30 до 50 лет. Финансовое положение верфи позволяет планомерно внедрять прогрессивные технологические процессы, модернизировать имеющееся и закупать новое оборудование. Территориальное расположение верфи в промышленной зоне города, в непосредственной близости от Морского канала, дает возможность, в отличие от других судостроительных предприятий Санкт-Петербурга, развиваться в контексте развития инфраструктуры города, что создает серьезную инвестиционную привлекательность. ■

В августе 2000 г. был спущен на воду первый тримаран, вошедший в состав военно-морских сил Великобритании «Triton». Процесс его строительства и испытаний вызвал пристальное внимание как военных специалистов мировых держав, так и всех интересующихся перспективами развития военного кораблестроения.

Сразу после его появления, журналисты окрестили «Triton» (рис. 1) боевым кораблем будущего, предвещая ему перспективу стать, подобно знаменитому линкору «Dreadnought» прародителем нового типа боевых кораблей для всех флотов мира.



Рис. 1. Исследовательское судно «Triton»

Сегодня вновь возрос интерес к кораблям подобной схемы. Отечественные конструкторы также работают в данном направлении. Например, «Зеленодольское ПКБ» (рис. 2) предлагает целый ряд тримаранов различного назначения и водоизмещения от 650 до 1000 т, «Северное ПКБ» еще в конце 80-х – начале 90-х гг. прошлого века разработало несколько проектов многокорпусных кораблей, в том числе и авианесущих.



Рис. 2. Тримаран «Русич» разработки «Зеленодольского ПКБ»

Прошло уже более десяти лет с момента спуска на воду «Тритона». Корабль прошел всесторонние испытания, и, наверное, подошло время сделать некоторые выводы о перспективах и целесообразности строительства подобных боевых единиц.

Сразу следует оговориться, что на самом деле «Triton» – не полноценный бо-

КОРВЕТ БУДУЩЕГО – КАКИМ ЕМУ БЫТЬ?

Д.В. Курочкин, канд. техн. наук, доцент СПбГМТУ, контакт. тел. (812) 784 1140

евой корабль, а лишь прототип реального корабля примерно в две трети натуральной величины, созданный специально с целью отработки и проверки на практике возможностей и потенциала инновационных технологий и последующего редуцирования рисков использования корпусов типа тримаран для перспективных боевых кораблей XXI в. В британском флоте он проходил под обозначением trimaran demonstrator (демонстрационный тримаран) или RV – research vessel (исследовательское судно).

Создание корабля велось в соответствии с совместной программой Великобритании и США. С целью четкого определения рамок проекта правительства этих стран в сентябре 1997 г. подписали Соглашение о взаимопонимании, в соответствии с которым ВМС США обеспечили поставку полного комплекта датчиков и регистрационного оборудования для их установки по всему кораблю, задачей которых был отбор данных, а также проведение их анализа во время ходовых испытаний в условиях сильного волнения.

Контракт на строительство был подписан осенью 1998 г., нарезка стали началась в январе 1999 г. Спуск корабля на воду состоялся в мае 2000 г., передача британскому Управлению исследований и оценок министерства обороны (Defence Research and Evaluation Agency, DERA, в настоящее время – компания «QinetiQ») – в сентябре того же года. Первые испытания начались в октябре 2000 г., в г. Росис, Шотландия.

«Triton» был спроектирован и построен компанией «Vosper-Thornycroft» на судовой верфи «Woolston», г. Саутгемптон, в соответствии с Правилами Det Norske Veritas (DNV) для быстроходных судов. На постройку корабля по официальным данным было потрачено 13 млн фунт. стерл. Более реальной представляется цифра в 40 млн, которая была озвучена независимыми экспертами.

Предполагалось что после всесторонних испытаний прототипа уже реальный корабль в 2013 г. войдет в состав Королевского флота и станет родоначальником целой серии перспективных боевых тримаранов Future Surface Combatant (FSC), которые придут на замену фрегатам проектов 22 и 23.

В течение последующих двух лет после спуска на воду корабль участвовал в большом количестве испытаний, включая испытания конструкций в сухом доке, буксировку, мореходные испытания, прием вертолета, осмотр состояния подводной части корпуса, ходовые испытания, испытания систем энергообеспечения, переход через Атлантический океан. Была отработана серия маневров швартовки к лоцманскому катеру, фрегату HMS «Argyll» и транспорту снабжения RFA «Brambleleaf». Все эти испытания были проведены с октября 2000 г. по декабрь 2002 г. Ходовые испытания судно проходило в условиях волнения моря до 7 баллов.

Установленные на корабле многочисленные датчики и регистраторы позволили произвести во время испытаний замеры, условно разделенные на три категории: судовые и навигационные системы, движение судна и реакция конструкций (рис. 3).

От судовых систем управления механизмами поступал информация о вырабатываемой генераторами и потребляемой исполнительными механизмами электроэнергии, расходе топлива и т.п.; от навигационных систем – информация о скорости и курсе судна. Также производились замеры углов килевой и бортовой качки. Приборы для замера динамических характеристик конструкций обеспечили запись большого количества данных: характеристик продольной и поперечной деформации, деформации переборки, крутящих моментов основного корпуса, концентрации напряжений, а также динамических характеристик

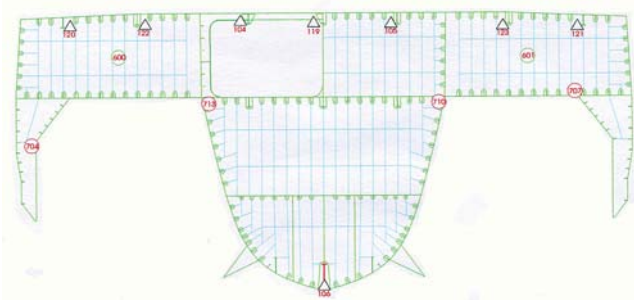


Рис. 3. Поперечное сечение RV «Triton» по шп. 22

тик конструкций, возникающих при уда-
рах волн.

Испытания корабля позволили про-
верить на практике не только его захо-
вые качества, но и провести всесторон-
нее тестирование дизель-электрической
установки, а также ряда методов сниже-
ния физических полей. В частности, в
качестве движителя был применен греб-
ной винт диаметром 2,9 м, изготовлен-
ный из композитных материалов, что
позволило сделать лопасти винта более
толстыми, а следовательно, снизить ви-
брацию и изменить акустическую сигна-
туру корабля. Для снижения теплового
следа газовыхлопы дизель-генераторов
были выведены в пространство между
основным корпусом и аутригерами.

Через пару лет после завершения ис-
пытаний министерством обороны Вели-
кобритании было принято решение о
дальнейшей судьбе корабля – тримаран
был передан британской организации
«Gardline Marine Sciences Ltd», занима-
ющейся исследованием океана, и пере-
оборудован в научно-исследовательское
судно. Для этого корабль оборудовали
датчиками, эхолотом, системой GPS на-
вигации и акустической аппаратурой и
после этого судно начали эксплуатиро-
вать для проведения гидрографических
исследований.

Вскоре, в декабре 2006 г., «Triton»
был передан по контракту Австралий-
ской таможенной службе для осуществ-
ления патрулирования в северных
территориальных водах. Корабль был
снова переоборудован для размещения
дополнительных 28 сотрудников тамо-
женной службы и оснащен двумя 50-мм
пулеметами. Кроме того, на его борту
появились лазарет, карантинный пункт
и изолятор, а также два семиметровых
быстроходных жестконадувных катера.
После окончания модернизации три-
маран приступил к выполнению своих
функций в январе 2007 г. и по сегодняш-
ний день несет службу у австралийских
таможенников (рис. 4).



Рис. 4. «Triton» в качестве тамо-
женного судна

Родоначальником нового класса ко-
раблей для ВМС Великобритании «Tri-
ton» так и не стал, хотя и было прорабо-
тано несколько вариантов корвета нового
типа с тримаранным корпусом (рис. 5). А
вот ВМС США, изначально вложившие
в проект средства и принявшие участие
в испытаниях корабля, извлекли соответ-
ствующие выводы и использовали их, а

также привлекли компанию «Austal» (го-
ловной офис находится в Австралии), ра-
нее создавшую 127-метровый скоростной
автомобильно-пассажирский паромат-
римарана «Benchiijigua Express» (рис. 6)
к созданию своего супер-современного
боевого тримарана LSC-2.



Рис. 5. Варианты перспективного
корвета ВМС Великобритании с
корпусом типа «тримаран»



Рис. 6. Скоростной автомобильно-
пассажирский паром «Benchiijigua
Express»

LSC-2 «Independence» кардинально
отличается от своего британского собрата
прежде всего идеологией использования.
Если «Triton» должен был стать прототи-
пом перспективного фрегата, то «Indepen-
dence» – это литоральный боевой корабль,
или корабль для быстрой переброски сил
и средств в ту точку земного шара, где го-
товится очередная миротворческая опе-
рация. Поэтому корабль имеет очень вы-
сокую скорость хода, а также обширный
ангар в кормовой части, предназначенный
для размещения специального оборудова-
ния и вооружения в сменных контейне-
рах. (рис. 7). ТТХ кораблей-тримаранов
приведены в табл. 1.

Не отрицая некоторых положитель-
ных свойств многокорпусной схемы, а
также возможность ее применения для
таких специфичных кораблей, как авиа-
носные корабли (рис. 8), скоростные де-
сантные корабли и паромы («Benchiijigua
Express», HSV-2 «Swift» (рис. 9), а также
корабли сил быстрого реагирования, ко-
торые должны иметь возможность с мак-
симальной скоростью перейти к району
предполагаемых боевых действий (LCS-2
«Independence»), хотелось бы рассмот-
реть вопрос о том, насколько рациональ-



Рис. 7. LSC-2 USS «Independence»

но использование многокорпусной схе-
мы при строительстве таких кораблей,
как корвет водоизмещением до 2000 т.
Именно таким являются и перспектив-
ный британский «Cerberus» и корабли
проектов «Зеленодольского ПКБ».



Рис. 8. Тримаран-авианосец разра-
ботки «Северного ПКБ». Фото из
архива музея ОАО «Северное ПКБ»

Определенно, многокорпусная кон-
струкция имеет ряд преимуществ перед
традиционной однокорпусной для ко-
рабля аналогичного или близкого во-
доизмещения. Корпус тримарана позво-
ляет редуцировать сопротивление воды,
соответственно повышается скорость
полного хода. Сегодня наблюдается тен-
денция повышения скорости полного
хода некоторых типов перспективных
боевых кораблей по сравнению с совре-
менными скоростями (таких, как амери-
канские литоральные боевые корабли).
Однако эта скорость для кораблей ма-
лого и среднего водоизмещения огра-
ничивается не столько запасом мощно-
сти, сколько мореходностью, так что более
мореходные корабли также будут иметь
преимущество и в скорости.

Все многокорпусные суда и корабли
в той или иной мере отличаются повы-
шенной мореходностью. Например, ка-
тамаран испытывает меньшую бортовую
качку при практически одинаковой с од-
нокорпусным кораблем килевой качке.
Более высокая остойчивость корабля, как
платформы-носителя оружия позволяет
расширить возможности при дополни-
тельном оборудовании и вооружении.

ТТХ некоторых кораблей-тримаранов

Характеристики	RV «Triton», спущен на воду в 2000 г.	HMS «Cerberus», проект	«Benchijigua Express», спущен на воду 2003 г.	USS HSV-2 «Swift», спущен на воду 2003 г.	USS LCS-2 «Independence», спущен на воду в 2008 г.
Длина наиб., м	96,9	116,0	126,7	98,0	127,4
Ширина наиб., м	22,5	24,6	30,4	27,0	31,6
Осадка, м	3,0	6,5	4,0	3,4	4,0
Водоизмещение полное, т	1200	2000	2500	1700	2780
Мощность ГЭУ, л.с.	Дизель-электрическая, одновальная, общей мощностью 27760 л.с.	Дизельная, возможно применение азимутально-поворотных двигателей	Дизельная, суммарной мощностью 44 600 л.с.	Дизельная, суммарной мощностью 38 600	Дизель-газотурбинная, 4 водомета. Суммарная мощность 83 400 л.с. (2 ГТ × 29 500 и 2 Д × 12 200)
Скорость полного хода, уз	20	28	Около 35	45+	45+
Дальность плавания, мили	550	3500 на скорости 16 уз	До 3000	3500 на скорости 18 уз	3500 на скорости 18 уз
Экипаж, чел.	14	62	25	42	50



Рис. 9. HSV-2 USS «Swift»

Все многокорпусные архитектурно-конструктивные схемы отличаются повышенной, в той или иной мере, площадью палуб на тонну водоизмещения. Поэтому именно многокорпусные схемы удобнее для обеспечения заданной площади палуб. Особенно это важно для перспективных кораблей, на которых авиационное вооружение будет применяться значительно шире, чем сегодня.

Многокорпусная схема позволяет реализовать такие направления технологии «Stealth», как, например, снижение теплового следа за счет организации газовыхлопа ГЭУ в пространство между корпусами.

Вместе с тем рассматриваемая схема для кораблей класса «корвет» имеет и свои минусы. Во-первых, это их гораздо более высокая стоимость, что связано прежде всего с более сложной технологией строительства корветов, которые должны быть массовыми и максимально дешевыми,

этот фактор, особенно в современных условиях, может оказаться критичным.

В наибольшей степени ходовые преимущества тримаранов проявляются на достаточно высоких скоростях. Так, общие наблюдения во время проведения испытаний «Тритона» показали, что корабль достаточно хорошо вел себя на сильном волнении и редко зарывался носом в волну. Но при всех погодных условиях корабль вел себя лучше всего на скорости *свыше 12 уз*. Однако корветы основное время боевой службы должны проводить в патрулировании акватории на невысоких скоростях, соответственно, их форма корпуса должна оптимизироваться под эти условия.

Все отечественные корабли проектируются с учетом возможности их работы в условиях низких температур, а попросту во льдах. Даже битый лед и шуга представляют для многокорпусного корабля серьезную проблему, поскольку будут накапливаться и застревать между корпусами, сводя на нет все преимущества принятой схемы.

Исследования показали, что в идеале аутригеры тримарана должны быть расположены вне области волн, генерируемых центральным корпусом. Это минимизирует волновое взаимодействие основного корпуса и аутригеров, но приводит к весьма значительной, около 35% длины, габаритной ширине. Можно сделать вывод, что подобная схема вследствие больших значений габаритной ширины подходит именно для малых кораблей – водоизмещением до 2000 т, т.е. для корветов. Однако именно на малых кораблях наиболее проблематично реализовать возможное благоприятное волновое взаимодействие корпуса и аутригеров.

Условия докования многокорпусного корабля сложнее, нежели для однокорпусного. Кроме того, отсутствие самих доков необходимых габаритов приведет к невозможности обслуживания кораблей.

Тримараны со схемой, принятой у англичан и в отечественных проработках, отличаются короткими бортовыми ау-

ригерами, длина которых равна примерно половине длине основного корпуса. Это приводит к серьезным проблемам со швартовкой корабля как кормой, так и бортом, что неприемлемо, поскольку корветы как корабли массовые должны обслуживаться экипажами с базовым (средним) уровнем подготовки. Отсюда вытекают и трудности с базированием корабля.

Одна из серьезнейших проблем многокорпусных кораблей и судов – это слеминг, причем в данном случае правильнее говорить не о классическом днищевом слеминге, а об ударах волн, воздействующих на конструкцию, соединяющую аутригеры или бортовые корпуса с основным корпусом. При этом ударные нагрузки столь высоки, что вся конструкция может получить тяжелые повреждения. Сказывается это и на обитаемости экипажа.

Таким образом, можно предположить, что для кораблей класса «корвет» многокорпусная схема принесет скорее больше минусов, нежели плюсов. Видимо, подобные выводы вынудили и англичан отказаться от реализации планов по созданию корветов-тримаранов.

Однако нельзя не учитывать тот факт, что в современных условиях при наличии множества альтернативных вариантов ни в коем случае нельзя внедрять волонтаристскими методами какой-либо один новый тип корабля. Необходимы реальная конкуренция нескольких типов кораблей на стадии эскизного проекта, доведение ряда альтернативных вариантов до технического проекта. Только при такой организации проектирования появится возможность реализовать новые технические решения.

ИСТОЧНИКИ

www.paxmanhistory.org.uk
 www.vpk-news.ru
 www.G2mil.com
 www.naval-technology.com
 www.gardlinemarinencesciences.com
 www.admc.esrtechnologym.com
 www.hildstrom.com
 www.austal.com ■

Группа компаний «Мюльхан АГ» («Muehlhan AG»), в которую входит российская компания ООО «Мюльхан-Морфлот», успешно внедряет современные технологии коррозионной защиты по всему миру. Более 20 лет сотрудничества в этой области с ЗАО «Концерн Морфлот» позволило добиться мирового уровня очистки и окраски кораблей и судов в судостроении и судоремонте в нашей стране.

Опыт наших коллег из Германии, Франции, Греции, США, КНР, Сингапура и других стран позволяет внедрять новую технику и обучать персонал. В условиях глобализации экономики распространение технологии ускоряется, а проекты, освоенные в одной стране, могут быть внедрены и в других странах.

Интересным примером этого может стать проект, выполняемый в настоящий момент компанией «Мюльхан-Франция». Получен заказ от ВМС Франции на выполнение работ на новом вертолетоносце.



Корабль аналогичен кораблям типа «Mistral», «Tonnerre», которые построены в Сен-Назаре в 2003–2004 гг.

Корабль проекта «G33» верфей «STX», длина которого составляет 200 м, ширина 32 м, в 2011 г. будет переведен в Тулон для установки систем вооружения.

Окрасочные работы, исключая наружный корпус, должны быть выполнены площадью 88300 м² на большинстве секций и дополнительно на поверхностях площадью 135000 м².

Этот проект заинтересовал ВМФ России, и, возможно, будет реализовано строительство аналогичного корабля совместно с российскими судостроителями. Переговоры на эту тему проводились во время выполнения компанией «Мюльхан-Франция» окрасочных работ на вертолетоносце проекта «G33».

В переговорах приняли участие вице-премьер Правительства Российской Федерации И. Сечин, представители «Объединенной судостроительной корпорации» и руководства «Адмиралтейских верфей».

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОРПУСООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА РОССИЙСКИХ ВЕРФЕЙ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

*Г.Д. Филимонов, д-р техн. наук, ген. директор ЗАО «Концерн Морфлот»,
С.Г. Филимонов, директор ООО «Морфлот-технология», аспирант СПбГМТУ,
А.Г. Филимонов, финансовый директор ООО «Мюльхан Морфлот»,
К.Г. Шмолдаев, мастер по оборудованию ООО «Морфлот-технология»,
контакт. тел. (812) 622 1031*



**И. Сечин,
вице-премьер Правительства РФ**

Для ведения работ на проекте «Мюльхан-Франция» применял установки, внедряемые в настоящее время компаниями группы «Морфлот» – ООО «Мюльхан Морфлот» и ООО «Морфлот-технология».

Обработка металла и подготовка его под окраску – одни из важнейших процессов в судостроении и судоремонте. Компания «Мюльхан» разработала технологическую линию для механической обработки металла дробеструйным методом «Abrasive Recovery Module System» (рис. 1). Технологи-

ческая линия выбрана с учетом различных погодных условий и пригодна для работы на всей территории РФ. Установка, последовательность и количество компонентов линии может меняться в зависимости от выполняемых работ.

ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ

Вакуумный модуль (Vacuum Module A) – это первичное звено системы очистки и циркуляции дробы. Собранный загрязненная смесь поступает в него по шлангу. Рабочий корпус модуля сварен в общую конструкцию с несущей рамой, которая служит основной защитой и монтажной системой агрегата. На всех модулях установлены датчики наполненности танка и блоки управления пневматическим приводом заслонки выходного отверстия.

Модуль очистки и сепарации материала (Abrasive Cleaning Module B) – вторичное и основное звено очистки и циркуляции дробы. Основные элементы его: сепаратор барабанного типа

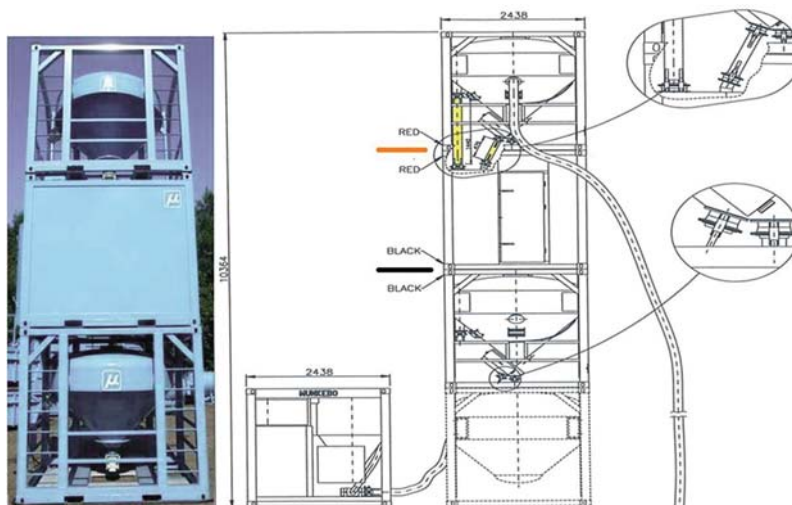


Рис. 1. Технологическая линия для механической обработки металла дробеструйным методом «Abrasive Recovery Module System»

с шнековым транспортером внутри, система циклон, контрольная панель управления модулем, несущая рама.

В сепаратор из вакуумного модуля поступает использованная дробь и крупный мусор; проходя через барабан, хорошая дробь отделяется, а крупный мусор проталкивается шнеком и поступает в контейнер. Важным элементом всей технологической линии является система регулировки и настройки сепаратора.

Циклон служит для тонкой очистки дроби (одна из труб, засасывающая воздух в циклон, подключена к задней стенке корпуса сепаратора) и загрязненного воздуха. Циклон непосредственно подключен к модулю очистки воздушной смеси, в результате чего в нем создается достаточное разрежение для работы всей системы.

Контрольная панель управления модулем – связующее звено в работе всех пневматических и электронных элементов. Электронный блок управления (ЭБУ) является процессором и одновременно контролером всех органов системы, световые индикаторы информируют о различных режимах работы и ошибках системы.

Модуль временного хранения материала (Storage Silo Module A) устанавливается под модулем очистки и сепарации. Технически и конструктивно он ничем не отличается от вакуумного модуля, что позволяет в случае необходимости или неисправности менять их местами. Он необходим для поддержания циркуляции дроби и совмещения двух процессов работы.

Рабочий модуль (Blast Machine Module C) – это база для всей линии и одновременно ключевой объект системы. Модуль служит для создания рабочей дробевоздушной смеси и подачи ее по шлангам в зону металлообработки. Объем дроби в танке может составлять 4–5 м³, масса всего модуля – 3750 кг. Компоненты модуля: танк рабочего модуля, ресивер, блок управления, клапаны и система шлангов, несущая рама. Давление на ресивер рабочего модуля подается либо напрямую с головного компрессора, либо с ресивера головного компрессора. Клапаны пневматические, в них уже частично дробевоздушная смесь соединяется с воздухом из ресивера и подается в рабочий шланг.

Рабочий модуль имеет четыре клапана, но рекомендуется использовать три. Пневматическая система клапана не только открывает и закрывает подачу дроби, но позволяет регулировать ее количество; благодаря этой системе есть возможность экономить дробь и получать более точные настройки при работе. Блок управления коммутирует и управляет всей пневмосистемой на рабочем модуле. К нему подключается блок управления с трансформатором на 24 Вт для четырех пескоструйных ламп. Эта система дает возможность управлять процессом непосредственно рабочим с места обработки.

Усовершенствованная пескоструйная лампа (Blaster) имеет ряд ключевых особенностей позволяющих: продлить срок ее службы, разделять режимы работы и в чрезвычайной ситуации практически исключить вероятность гибели пескоструйщика из-за потери контроля над процессом.

Система сборки всей технологической линии проста: линия может быть развернута в короткие сроки на земле, в помещении, на объекте. Для того чтобы правильно установить все элементы вышки, на рамах есть маркеры красного и черного цвета. Высота вышки – около 10,5 м, ширина – 2,5 м, масса – более 13 т.

Нормальное рабочее давление в системе должно сохраняться на уровне 7–9 бар, максимальное давление – 12 бар; давление в пневматической системе должно поддерживаться на уровне 5–6 бар; система должна работать на расстоянии не более 100 м от линии; трансформаторы для пескоструйных ламп – на 24 В; температура работы – максимум 50°; при этом следует содержать шланги в герметичном состоянии.

Все техническое обслуживание должно проводиться строго по графику с использованием только качественных материалов и запчастей. Сотрудничество с компанией-производителем позволит использовать оригинальные компоненты.

Технологическая линия по дробеструйной обработке, предложенная компанией «Мюльхан», является современной, надежной и технически продуманной. Она отвечает всем требованиям и позволяет выполнять любые работы, связанные с обработкой

металла, достаточно безопасна, универсальна и удобна в использовании. В зависимости от желания и условий работы она может быть дополнена и изменена.

Внедрение этой современной техники позволило значительно увеличить производительность труда, снизить трудоемкость и сократить загрязнения при ведении работ.

В 2008–2010 гг. успешно выполнены работы на танкерах ледового класса, принадлежащих ОАО «Совкомфлот», «Михаил Ульянов» и «Кирилл Лавров». Также выполнены работы по восстановлению антикоррозионной защиты на ТАРК «Петр Великий» и ТАВКР «Адмирал Флота Советского Союза Кузнецов» – флагманах Российского флота.

Выводы

1. Внедрение новых установок, разработанных и используемых в технологически развитых странах, снижает затраты на оплату труда, повышает производительность труда за счет механизации.

2. Конкурентоспособность отечественного судостроения зависит от модернизации технологического оборудования и организации производства.

3. Техническое превосходство ведущих судостроительных стран Азии компенсируется инвестициями в передовые европейские технологии и управление производством.

4. Строительством любых аналогов военной и гражданской морской техники для российских судостроительных компаний не представляет больших проблем при использовании современного оборудования и технологических процессов, доступных сегодня российским предприятиям.

5. Постройка российских военных и гражданских судов абсолютно рентабельна при приемлемых инвестициях государственного и частного характера и организации квалифицированного управления проинвестированных объектов.

6. Необходимым условием создания флота России является внедрение новых технологий, а также формирование мотивированного и высококвалифицированного рабочего и инженерного кадрового состава. ■

Рыболовные суда играют значительную роль в экономической жизни большинства государств, в том числе для Союза Мьянма. В этой связи необходимо повышение эффективности траулеров, сейнеров и других рыболовных судов за счет совершенствования способов проектирования и постройки. Методика проектирования рыболовных судов имеет много системных отличий по сравнению с более разработанной методикой проектирования грузовых судов [1, 2]. В то же время общие принципы формулирования и применения проектных моделей любых судов близки, и потому могут быть приняты в качестве базисных [3]. В проектной модели исходными позициями являются главные размерения и компоновка.

Типичная компоновка среднего рыболовного траулера показана на рис. 1. Кормовая часть палубы занята промысловым устройством, позволяющим работать с тралом, под палубой находится трюм. В носовой части размещена надстройка, под которой находится машинное отделение. На мачте привлекает внимание смотровая площадка, обеспечивающая дальний обзор морской акватории.



Рис. 1. Средний рыболовный траулер «Isabel Cautro»

Более сложную компоновку имеют крупные рыболовные суда, на которых дополнительно появляется комплекс по переработке и заморозке улова (рис. 2). Несмотря на расположение машинного отделения в корме, здесь же на верхней палубе размещается промысловая площадка со слипом и траловой лебедкой (вблизи миделя). Это сделано благодаря тому, что шахты и дымовые трубы размещены побортно, благодаря чему освобождается место для работы с тралом. В носовой и срединной частях траулера имеются три трюма, производственный комплекс располагается между верхней и нижней палубами, почти до середины длины судна. Носовая часть твиндека и надстройка предназначены для размещения экипажа и промыслового персонала. Имеется значительный конструктивный

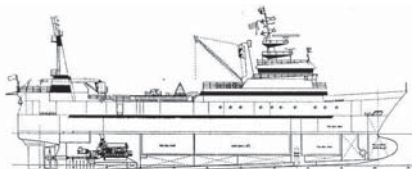


Рис. 2. Схема большого рыболовного судна «Мыс Скорсакова»

ВЗАИМОСВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВМЕСТИМОСТИ И МОЩНОСТИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЫБОЛОВНЫХ СУДОВ

Лвин Аунг Соэ, аспирант,
Б.А.Царев, д-р техн. наук, проф., СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 4940969

дифферент, способствующий буксировке трала. Носовой бульб обеспечивает благоприятную интерференцию волн и позволяет достичь значительной скорости при движении траулера к месту промысла и обратно.

Проектная модель. При оптимизационном проектировании рыболовного судна проектную задачу целесообразно разделить на четыре части (рис. 3):

1. Составление проектной математической модели, в которую в качестве главной части входит совокупность условий, ограничивающих область поиска оптимума. Ими чаще всего являются неравенства, реже – уравнения, а также другие математически выраженные проекторочные зависимости (иногда в виде графиков или таблиц).



Рис. 3. Схема решения задачи оптимизации

Входящие в модель ограничивающие условия позволяют выделить для исследуемых проектных величин область технически допустимых вариантов. Для каждой группы рыболовных судов границы таких областей отличаются. Практика оптимизационных исследований по рыболовным судам показала, что по ряду проектных величин область допустимых вариантов чаще всего совпадает с областью, фиксируемой при изучении графических представлений характеристик, входящих в базы данных. В подобной ситуации логично искать оптимумы только для таких параметров, по которым база данных мала и не позволяет выявить четкие тенденции. Для формирования и корректировки баз данных не-

обходимо регулярно обновлять информацию на основе проектов, публикаций в печати и в Интернете.

2. Выбор критерия оптимизации: в критериальной части проектной модели выбирается один из подходящих экономических показателей целевой эффективности, либо производится комбинирование («свертка») нескольких критериев. Среди экономических показателей наиболее важны: цена судна, годовые эксплуатационные расходы, доход от реализации продукции, прибыль и срок окупаемости. Для рыболовных судов одним из практически удобных критериев может быть себестоимость единицы массы выловленной рыбы, которая лимитирует нижнюю границу цены реализуемой продукции.

3. Формирование сетки проектных вариантов (или частных сеток оптимизируемых характеристик в алгоритмических подсистемах рыболовного судна): формулируются сравниваемые варианты значений проектных величин, предназначенных для оптимизационного исследования (в практически рациональном интервале) и путем проверки включенных в модель ограничивающих условий отбираются технически допустимые варианты.

4. Оптимизация: для технически допустимых вариантов вычисляются значения критериев и выбирается вариант с лучшей величиной критерия. Это и будет оптимальный вариант исследуемой величины при выбранной форме критерия. При использовании компьютерных алгоритмов непосредственного поиска оптимума наиболее надежные результаты дает полный перебор по сетке вариантов.

При оптимизации рыболовных судов ограничивающие условия целесообразно рассматривать в определенной логичной последовательности, начиная с наиболее важных вопросов, чтобы уменьшить число «возвратов» к началу модели («возврат» может потребоваться

при невыполнении очередного проверяемого ограничения).

Как видно рис. 3, для рыболовных судов на первом месте стоит модель. В оптимизационной модели актуально рассмотрение более десятка свойств, учитываемых системой ограничений. В данной публикации главное внимание уделено наиболее важным подмоделям: вместимости по площадям и мощности. В то же время достаточно представительная оптимизационная модель рыболовного судна, сходная по содержанию с первой позицией представленной схемы, включает более десятка проектных уравнений и неравенств [4]. При применении всех уравнений, включаемых в модель, необходима их корректировка на основе информационной базы по рыболовным судам [5, 6].

Значительное внимание вопросам, входящим в подмодели компоновки, нагрузки, вместимости, остойчивости, было уделено в ряде публикаций [7, 8]. Надо отметить, что для совершенствования теории проектирования рыболовных судов важное значение имеет применение уравнений в форме частных производных (по И.Г. Бубнову и Л.М. Ногицу) и двухуровневого оптимизационного анализа (по В.Л. Позднину и В.М. Пашину), но конкретных разработок в этой области для траулеров пока мало [9–11]. Большой объем информации по теории и практике проектирования и применения рыболовных судов, в том числе в штормовых условиях, содержится в работах [12, 13]. Однако непосредственная форма уравнения мореходности в форме, удобной для оптимизационных обоснований, пока не разработана. Новые тенденции в эксплуатации и проектно обосновании рыболовных судов, связанные с существенным ростом скоростей и с расширением спектра орудий лова, освещаются в методических разработках [14, 15]. Для рыболовных судов актуальны также исследования обобщающего характера, которые могут быть использованы и при совершенствовании проектных характеристик рыболовных судов [16, 17]. Здесь имеются в виду вопросы комплексной безопасности и применения модульных подходов к конструкциям и компоновочным модулям рыболовных судов. В сходных с рыболовными судами условиях эксплуатируются исследовательские суда и суда для охраны экономических зон, поэто-

му общими для них являются и многие проектные уравнения [18]. Особенно большую ценность представляют исследования по малым рыболовным судам, на эксплуатацию которых в наибольшей степени влияют суровые погодные условия, ведущие к затруднениям в обеспечении обитаемости и безопасности [19, 20]. Предстоит внедрение результатов этих исследований в практику нормирования характеристик безопасности.

Анализ проектных ограничений по вместимости и компоновке. Вместимость тесно связана с компоновкой, но задачи анализа несколько различаются. Для вместимости важно проанализировать общий баланс объемов и площадей. При анализе компоновки главное значение имеет установление числа главных переборков, палуб и платформ, а также определение рациональных расстояний между ними. При этом учитываются требования обеспечения прочности, непотопляемости, удифферентовки, балластировки, пожаробезопасности.

щадь по j -ой составляющей.

Одной из важнейших составляющих является промысловая палуба, для которой

$$S_{\text{ин}} = l_{\text{ин}}(B - 2b) \geq \sum_{j=1}^{n_s} S_j, \quad (1a)$$

где $S_{\text{ин}}$ – площадь промысловой палубы; $l_{\text{ин}}$ – длина промысловой палубы; B – ширина судна.

При определении объема корпуса исходной величиной служит расчетное водоизмещение подводной части, для этого необходимо использование баланса сил веса и сил плавучести. Необходим также анализ эпор емкости типовых судов для выявления закономерностей распределения объемов по их функциональным категориям. Сходным образом проводится анализ и для баланса площадей:

При проектировании промысловой палубы рыболовного судна надо определить фактические значения площади промысловой палубы на конкретных судах и их соотношение с произведением длины и ширины $L \times B$ (табл. 1).

Таблица 1
Удельные площади промысловых палуб рыболовных судов

Тип судна	Длина наибольшая, м	Общая площадь, м ²		Отношение площади промысловой палубы к общей площади палубы
		палубы	промысловой палубы	
СО-300	28,8	132	80	0,60
РС-300 (зарубежное)	29,3	145	95	0,65
РС-300 (российское)	33,4	176	120	0,68
РСТ-300-400	39,2	212	115	0,55
СРТР-400 «Бологое»	43,6	240	140	0,58
СРТР-540 «Океан»	50,8	340	140	0,42
СРТМ «Маяк»	54,1	390	165	0,42
СРТМ «Север»	71	790	194	0,25
БМРТ «Атлантик»	82,2	950	188	0,20
БМРТ «Арктик Фрибутер»	73,4	774	192	0,25
– (российский проект)	49,2	528	125	0,24

В общей теории проектирования судов используется уравнение вместимости В.Л. Позднина и другие формы уравнений вместимости, в которых главное внимание обращается на анализ кубатуры [1, 10]. Однако для рыболовных судов, особенно для траулеров, этого недостаточно, – требуется также анализ площадей.

Условие вместимости по площадям

$$S_{\text{расп}} = (\alpha \times L \times B \times K_{\text{яп}}) n_{\text{яп}} \geq \sum_{j=1}^{n_s} S_j, \quad (1)$$

где $S_{\text{расп}}$ – располагаемая площадь; α – коэффициент полноты конструктивной ватерлинии; $K_{\text{яп}}$ – коэффициент использования площади ярусов; $n_{\text{яп}}$ – число ярусов надстройки; S_j – требуемая пло-

Далее пропорционально вместимости трюмов или характерного суточного улова необходимо выбрать в проекте характеристики промыслового оборудования и наметить совокупность других показателей компоновки и вместимости.

В результате этого появляется возможность корректировать длину проектируемого судна в зависимости от требуемых площадей или при определённой длине находить наличные площади, удовлетворяющие ожидаемым промысловым характеристикам.

На основании данных табл. 1 построены графики, приведенные на рис. 4–7.

Из рис. 4 и 5 видно, что величины площадей меняются в зависимости от

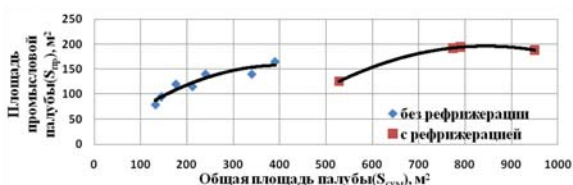


Рис. 4. Изменение площади промысловой палубы по интервалу изменения общей площади палубы

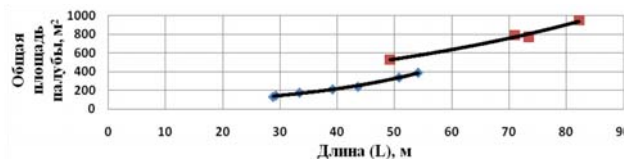


Рис. 5. Изменение общей площади палубы по интервалу длины

наличия или отсутствия холодильной установки (для рефрижерации груза, применяемой на относительно крупных судах; граница проходит по длине около 50 м). Влияние проявляется в том, что при рефрижерации примерно в полтора раза увеличиваются суммарные объемы и площади, из-за этого на общем фоне меняются и относительные величины рассматриваемых характеристик. Видно, что зависимость от площади нелинейна, а при переходе к длине в качестве аргумента функциональные зависимости выравниваются.

График рис. 6 позволяет перейти от характеристики площади промысловой палубы к установлению требуемой длины траулера.

Из рис. 7 видно, что с ростом размеров судов эта величина сперва плавно падает, а затем выравнивается на уровне 20 %.

Ограничения по мощности и по вспомогательной энергетической установке. Анализ характеристик рыболовного судна, связанных с мощностью и энергетической установкой является одной из ответственных проблем проектирования, влияющей на структуру нагрузки и компоновки, на решение задач вместимости. Рис. 2, на котором можно видеть бульбовый нос и хорошо проработанную компоновку кормы, показывает, что на обоснование формы корпуса в этом проекте было обращено серьезное внимание.

Проверка условий соответствия мощности и ходкости. В наиболее простом случае можно считать, что мощность пропорциональна полной массе, а коэффициент пропорциональности принимать по близкому прототипу:

$$N = aD, \quad (2)$$

где N – мощность энергетической установки, кВт; D – полная масса судна, т; a – коэффициент, определяемый по близким прототипам (обычно a в среднем близок к единице, но у скоростных рыболовных судов, предназначенных для доставки выловленной рыбы в живом виде, a может достигать 5–9).

На графике рис. 8 видно, что общая зависимость имеет понижающийся ха-

рактер. При длинах $L = 12 - 55$ м, $a = N/D = 0,6 - 2,2$ и при длинах $L = 60 - 115$ м, $a = N/D = 0,3 - 0,9$. Таким образом, основной тенденцией будет повышение N/D при уменьшении L . Для малых и средних рыболовных судов $a = 0,6 - 2,2$, при этом среднее значение будет $a = 1,4$. Для больших траулера $a = 0,4 - 1$, при этом среднее значение будет $a = 0,7$. Однако на практике можно ориентироваться на более узкие интервалы длин и исходить из более конкретных значений a . При варианном исследовании влияния длины на мощность при $L \leq 70$ м можно пользоваться аппроксимационной формулой (2а)

$$\frac{N}{D} = (3,4 - L^{1/4}) \pm 0,35. \quad (2a)$$

Для больших длин $a = N/D = 0,3 - 0,9$, т.е. мало зависит от длины (в пределах колеблемости).

При общем анализе базы данных по мощности сходные результаты дает зависимость, учитывающая влияние скорости

$$N = a_1 D v, \quad (3)$$

где a_1 – коэффициент, определяемый по близким прототипам; v – скорость полного хода (уз). Для большинства точек (кроме длин менее 18 м) характер изменения a_1 по интервалу длин соответствует зависимости

$$\frac{N}{Dv} = \frac{1,13}{L^{3/4}} \pm 0,20. \quad (3a)$$

Более точная форма для уравнения мощности энергетической подсистемы должно содержать конкретные данные по оценке сопротивления воды движению судна:

$$\frac{(\sum R_j) \times v_1}{102\eta} \leq [N]. \quad (4)$$

Здесь R_j – сопротивление движению судна по j -й составляющей; v_1 – скорость, м/с; η – пропульсивный коэффициент, зависящий в наибольшей степени от КПД движителя (с поправками на влияние корпуса судна).

При конкретной реализации проектных обоснований расчет сопротивления производится

на более поздних этапах детализации разделов проектирования.

В практике первичного проектного анализа на его начальном этапе при наличии очень близкого прототипа широко применяется формула адмиралтейского коэффициента:

$$N = \frac{D^{2/3} \times v^3}{C_A} \leq [N], \quad (5)$$

где C_A – адмиралтейский коэффициент. На рис. 9 приведен график изменения обратной ему величины $N/D^{2/3} \cdot v^3$, падение которой соответствует возрастанию адмиралтейского коэффициента.

На рис. 10, видно, что точки графика можно объединить в четыре группы. При $18 < L < 39$, $1/C_A = 0,0045 - 0,009$, среднее значение равно 0,0065, $C_A = 154$. При $45 < L < 65$, $1/C_A = 0,004 - 0,007$, среднее значение – 0,0045, $C_A = 222$. При $72 < L < 93$, $1/C_A = 0,0025 - 0,004$, среднее значение – 0,0035, $C_A = 286$. При $96 < L < 115$, $1/C_A = 0,0025 - 0,0055$, среднее значение – 0,004, $C_A = 250$ (происходит частное падение из-за случайности и малости выборки).

Однако график подтверждает, что для рыболовных судов величина адмиралтейского коэффициента нестабильна и имеет значительную колеблемость. Поэтому В.В. Ашик и А.И. Раков рекомендовали применять для рыболовных судов относительно новую «флотскую» формулу мощности, которая имеет вид

$$N = K_{\text{Ашч}} \times D^{0,5} \times v^{2,5}, \quad (6)$$

где $K_{\text{Ашч}}$ – коэффициент Ашика, Царева и Челпанова (авторов «флотской» формулы). В этой формуле снижение показателей степени по сравнению с адмиралтейской формулой основано на преобладающей эксплуатации рыболовных судов на относительно низких скоростях, когда роль сил трения заметна по сравнению с силами другой природы [1, 17].

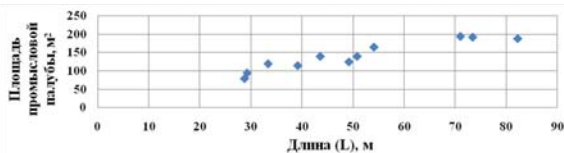


Рис. 6. Изменение площади промысловой палубы по интервалу длины

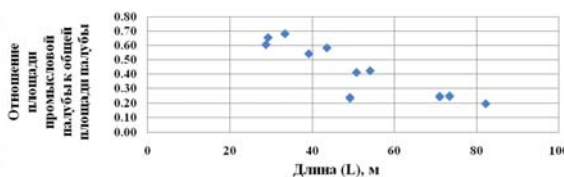


Рис. 7. Зависимость отношения площади промысловой палубы к общей площади палубы по интервалу длины

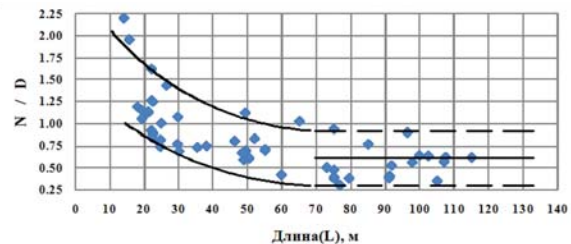


Рис. 8. Изменение N/D по интервалу длины

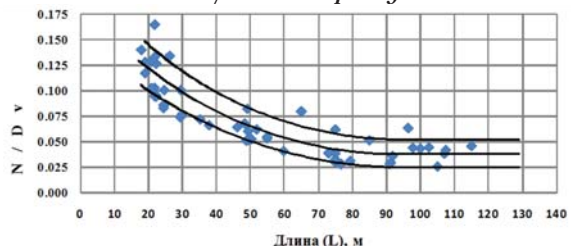


Рис. 9. Изменение N/Dv по интервалу длины

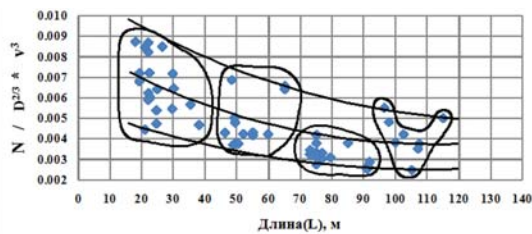


Рис. 10. Изменение $N/D^{2/3} \cdot v^3$ по интервалу длины

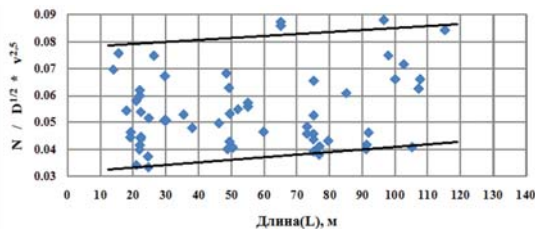


Рис. 11. Изменение величины $N/D^{0.5} \cdot v^{2.5}$ по интервалу длины

Как видно из рис. 11, можно судить, что изменение коэффициента $K_{\text{ЛЩ}}$ имеет более пологий характер и интервал колеблемости несколько меньше, чем у адмиралтеского коэффициента.

Для рыболовных судов большое значение имеет мощность, затрачиваемая на работу электростанции и холодильной установки. Эта мощность обеспечивается вспомогательными двигателями и составляет определенную долю мощности главных двигателей. Взаимосвязь этих величин показана на рис. 12. Выделена область наибольшего скопления практических точек, в которой общую зависимость можно считать линейной (мощность вспомогательных двигателей в среднем составляет 60 % от основной мощности). В остальной части графика разброс точек значителен и позволяет выявить только пределы изменения изучаемой величины.

При расчете судовых запасов и топлива большое значение имеет установление рациональной автономности. На рис. 13 показано изменение автономности по интервалу длины судна.

Можно видеть, что для каждого интервала длин траулеров характерно свое наиболее типичное значение автономности. У малых судов (в интервале длин от 12 до 40 м) автономность почти линейно растет от 8 до 20 сут. Для траулеров длиной от 45 до 67 м средняя автономность составляет месяц, длиной от 72 до 102 м – около 70 сут. У Автономность супертраулеров (длиной более 105 м) при экспедиционной организации промысла достигала 100 – 120 сут.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные вопросы важны для уточнения логико-математической модели, формируемой при проведении оптимизационного обоснования. Для рыболовных судов определение вместимости и мощности происходит иначе, чем для грузовых судов. Более важную роль играет автономность, а грузоподъ-

емность и грузовместимость пропорциональны ей, так как тесно связаны с суточным уловом. С ним же связан состав промыслового оборудования, а для траулеров-заводов также состав производственного оборудования.

На мощность энергетической установки рыболовных судов значительно влияют не только расчетная скорость, но и тяга при тралении, а также задачи, связанные с обработкой улова. Необходимо отметить, что мощность для рыболовного судна является и одним из факторов безопасности, так как обеспечивает тот минимум скорости при сильном волнении и ветре, который позволяет сохранять управляемость и выбирать курс, благоприятный в отношении качки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аших В.В. Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1985.
2. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем. – СПб.: Изд. НИЦ Моринтех, 2001.
3. Гайкович А.И., Царев Б.А. Принципы построения логико-математической модели оптимизации элементов контейнерного судна. – Тр. ЛКИ, 1974, вып. 90, с. 33 – 38.
4. Гарькавый В.В., Уткин А.И., Ярисов В.В. Эквивалентная модель качки корабля с жидким грузом в длиннопротяженных отсеках корпуса. – Калининград: Балт. госуд. академия рыболовного флота, 2004.
5. Иванов В.П., Царев Б.А. Система проектных уравнений для рыболовных судов. – Докл. первой секции на «кругом столе» по проблеме конкурентоспособности судостроительной промышленности. – СПб.: Изд. НТО им. акад. А.Н.Крылова, 2008, с. 80.
6. Каменский Е.В., Терентьев Г.В. Рыболовные траулеры. – Л.: Судостроение, 1968.
7. Каменский Е.В., Терентьев Г.В. Траулеры и сейнеры. – Л.: Судостроение, 1978.
8. Левин Аунг Соэ. Анализ рациональной компоновки, нагрузки и вместимости при проектировании рыболовных судов. – Мат-лы конфер. «Моринтех-Юниор-2009», с. 135 – 138.

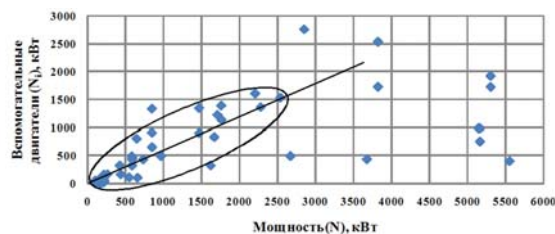


Рис. 12. Изменение мощности вспомогательных механизмов по интервалу изменения мощности главного двигателя

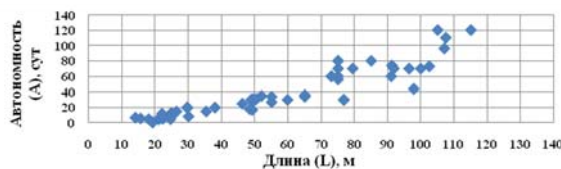


Рис. 13. Изменение автономности по интервалу длины

9. Левин Аунг Соэ, Нго Дык Тханг, Царев Б.А. Методическая схема проектного анализа рыболовных судов. – Тез. докл. конфер. «Единение науки и практики». – СПб., НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, 2010, с. 8.
10. Ногид Л. М. Теория проектирования судов. – Л.: Судпромгиз, 1955.
11. Пашин В.М. Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983.
12. Раков А.И., Севастьянов Н.Б. Проектирование промысловых судов. – Л.: Судостроение, 1981.
13. Флот рыбной промышленности, справочник типовых судов. – М.: Транспорт, 1990.
14. Францев М.Э., Часовников Н.Ю. Особенности оптимизации проектных характеристик рыболовных судов с повышенной скоростью. – Тез. докл. конфер. «Единение науки и практики». – СПб., НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, 2010, с. 6 – 7.
15. Царев Б.А., Левин Аунг Соэ. Проектный анализ нагрузки, вместимости и остойчивости рыболовных судов // Морские интеллектуальные технологии. – 2010. – № 2. – С. 15 – 19.
16. Царев Б.А. Проектный анализ проблемы навигационной безопасности. – Тр. ЛКИ: Проектирование морских судов, 1988, с. 36 – 41.
17. Царев Б.А. Модульные задачи в проектировании судов. – Л., Изд. ЛКИ, 1986.
18. Шагиданов В.И. Проектное обоснование характеристик судов для охраны экономических зон и исследования океана. – Сб. докл. Международн. семинара «Суда будущего». – СПб., НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, 2007, с. 60 – 63.
19. Ярисов В.В. Анализ аварий судов от потери остойчивости в условиях заливания палубы. – СПб.: Судостроение, 2005.
20. Ярисов В.В. Особенности эксплуатации малотоннажных судов на попутном волнении в условиях заливания палубы в свете обеспечения безопасности мореплавания. – СПб.: Судостроение, 2003. ■

Рецензент:
А.И.Гайкович, д-р техн. наук, проф.

Расчетное время создания (проектирования и строительства) корабля (судна) составляет около 10 лет. Период эксплуатации до возможных операций реновации – около 30 лет. Таким образом, эксплуатация, в рамках которой проводятся мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р), имеет наибольшее значение среди этапов жизненного цикла как по длительности, так и по стоимости. По разным оценкам, стоимость этого этапа цикла достигает от 50 до 70% стоимости создания и владения.

В настоящее время вопросам ТО и Р корабельного и судового состава уделяется особое внимание органами государственной власти и судовладельцами. Вопросы судоремонта стали предметом рассмотрения Советом безопасности. Президентом страны высказаны справедливые нарекания на недопустимо высокие значения трудоемкости, стоимости и срокам выполнения работ. Это объясняется недостаточной эффективностью функционирования системы ТО и Р, которая зависит от следующих условий:

1. Ремонтпригодность судна (корабля). Ремонтпригодность корабля, его составных частей и комплектующих изделий – это приспособленность к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений для поддержания и восстановления работоспособного состояния путем проведения ТО и Р (ГОСТ Р 53480–2009).

Ремонтпригодность осуществляется путем отработки конструктивной технологичности объектов ТО и Р и должна предполагать:

- снижение потребности в ТО и (или) ремонтах;
- повышение эксплуатационной и ремонтной технологичности конструкций корабля и его составных частей;
- снижение затрат труда и квалификации исполнителей для выполнения ТО и (или) ремонтов;
- внедрение наиболее эффективных видов и методов ТО и (или) ремонтов;
- повышение безопасности труда при ТО и (или) ремонтах.

В количественном отношении ремонтпригодность кораблей оценивается прежде всего такими показателями, как трудоемкость, продолжительность, стоимость ремонта. При этом, чем ниже эти показатели в количественном исчислении, тем ремонтпригодность корабля выше.

Требования по ремонтпригодности имеют свою нормативную основу, которую обеспечивают:

ГОСТ 23660–79 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Обеспечение ремонтпригодности при разработке изделий»;

УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

*Г.Н. Муру, канд. техн. наук, генеральный директор ОАО «51 ЦКТИС»,
контакт. тел. (812) 315 4915*

ОСТ В5. 0476–86 «Надежность корабля. Ремонтпригодность. Общие положения»;

РД В5. 0499–87 «Надежность корабля. Ремонтпригодность. Методы определения показателей на стадии проектирования. Методические указания»;

РД В5. 0682–91 «Надежность корабля. Принципиальные вопросы ремонтпригодности корабля и его систем».

Несмотря на наличие исчерпывающего комплекта нормативных документов, определяющих порядок обеспечения ремонтпригодности в последние десятилетия, большое количество необходимых мероприятий не исполняется по разного рода объективным и субъективным причинам.

Ремонтпригодность кораблей, их составных частей и комплектующих изделий продолжает оставаться недопустимо низкой, значительно уступая достигнутым в мировой практике показателям. Последствия этого выявляются в ходе ремонта, но очевидны уже при проектировании.

Причины низкой ремонтпригодности:

- стремление заказчика и проеканта для улучшения тактико-технических данных по отдельным показателям (удельная стоимость постройки на 1 т водоизмещения, скорость хода и т.д.), в первую очередь уменьшить водоизмещение кораблей и судов. Это приводит к большой затесненности основных помещений, труднодоступности при эксплуатации, ТО и Р, вследствие этого требуется проведение большого объема сопутствующих трудоемких работ. При соизмеримости количественных показателей ремонтпригодности с аналогичными при постройке корабля можно утверждать, что спроектированный корабль неремонтпригоден, целесообразность выполнения его заводского ремонта сомнительна, логичнее построить новый;

– низкая долговечность многих комплектующих изделий, применяемых в проектах (ниже установленного в ТТЗ срока эксплуатации кораблей и судов до заводского ремонта), что вызывает необходимость проведения ремонтных работ в более ранние сроки, чем это установлено эксплуатационным циклом;

– применение в составе кораблей и судов комплектующих изделий иностранного производства. Полноценное обслуживание, ремонт, технический контроль и приемка работ для их безопасной эксплуатации в этом случае крайне затруднительны как на режимных отечественных предприятиях, так и в местах базирования флота. Сервисное (фирменное) обслуживание импортного оборудования изготовителем (поставщиком), выполняемое с ежегодной периодичностью, весьма дорого, затруднено по причинам режима в местах базирования флота, а иногда и исключено.

Выход из сложившейся ситуации представляется в **восстановлении порядка обеспечения ремонтпригодности**, что подразумевает:

✓ при разработке ТТЗ заказчиком с привлечением специализированных организаций обязательное установление конкретных требований ремонтпригодности,

✓ исключение случаев сокращения выпускаемых документов, отступлений от перечня проектно-конструкторских документов, установленных ОСТ В5Р.0722–96.

✓ проведение экспертизы надежности по каждому вновь создаваемому кораблю.

2. Документальное обеспечение ремонта. Сегодня обеспеченность кораблей (судов) в целом, их составных частей, комплектующих изделий ремонтно-технической документацией составляет не более 50%. *Документы для ремонта* – это совокупность конструкторских, технологических и организаци-

онно-технических документов, применяемых для подготовки производства, выполнения ремонта и сдачи корабля после него. *Ремонтные документы* – это конструкторские документы, разрабатываемые специально для подготовки производства, выполнения ремонта и сдачи корабля после него.

В комплект документов для ремонта входят:

- ремонтные документы;
- рабочие конструкторские документы, переработанные для целей ремонта;
- отдельные эксплуатационные документы;
- технологические инструкции на отдельные технологические процессы (очистка, промывка, резка, сварка, нанесение покрытий, восстановление амортизаторов и т.п.);
- организационно-технические документы (типовые ремонтные ведомости, типовые ведомости приемок контрольным персоналом предприятия и заказчиком, сетевые графики ремонта, программы испытаний и т.п.).

Документы разрабатывают отдельно для докового ремонта и в одном документе – для текущего и среднего ремонта корабля.

Ремонтная документация (РД) – документация конструкторская, определяющая, каким должно быть изделие в данном случае после ремонта.

Принципиальное отличие РД от рабочей конструкторской документации (РКД) – наличие допустимых отклонений величин размеров, зазоров и других параметров, предусмотренных в РКД. Допустимые отклонения определяют, исходя из оставшегося срока службы или межремонтного срока.

При отсутствии РД проведение ремонтных работ в соответствии с требованиями РКД приводит к неоправданному завышению материальных и трудовых затрат, увеличению их сроков и стоимости.

3. Подготовка производства предприятия. Она представляет собой комплекс взаимосвязанных задач, сгруппированных по следующим видам:

- организационная;
- конструкторская;
- технологическая;
- материально-техническая;
- строительство и реконструкция предприятия;
- подготовка кадров.

По последовательности решения задач подготовка производства подразделяется на три этапа: перспективная; предварительная; оперативная.

Подготовка производства заключается в создании на предприятии ус-

ловий, обеспечивающих выполнение работ в заданном объеме, в установленные сроки и с заданным уровнем качества.

С целью обеспечения минимальных капитальных вложений в подготовку производства предприятий сроком на 10 лет устанавливалась специализация предприятий по комплексному ремонту кораблей; централизованному ремонту отдельных типов комплектующих изделий, предложения по специализации предприятий по ремонту кораблей новых проектов, не вошедших в утвержденную специализацию, включалось в проект решения об утверждении технического проекта корабля.

Опыт работы по ремонту кораблей, морского вооружения и техники в условиях функционирования федерального закона 1994 г. показал, что в нормативные сроки, с соответствующим качеством и расчетной стоимостью ремонт способны выполнить, как правило, только специализированные предприятия.

Подготовка производства этих предприятий к ремонту новой техники ФЗ – 94 не предусматривается. Увеличение доли единственных исполнителей и поставщиков при выполнении ГОЗ по номенклатуре ВМФ с заключением трехлетних контрактов не решает вопросов перспективной и предварительной подготовки производства.

4. Проведение единой технической политики. Одной из причин недостаточного эффективного взаимодействия всех участников процесса ТО и Р является отсутствие органов определяющих и координирующих техническую политику в области судоремонта.

В период планово-административной экономики все органы исполнительной власти – судовладельцы имели в своем составе соответствующие структуры, включающие отраслевые проектные или конструкторско-технологические организации.

На общегосударственном уровне их деятельность координировал Межведомственный совет (МВС) по судоремонту при Госплане. Ежегодные, как правило выездные, заседания МВС на предприятиях позволяли принимать и реализовывать решения Госплана и Совета Министров по развитию и функционированию отрасли (рис. 1 и табл. 1).

Сегодня, когда в ходе длительного реформирования наконец-то сформирована структура, объединившая в своем составе многие проектные, конструкторско-технологические, судостроительные и судоремонтные мощности государства, представляется целесообразным организовать на ее базе орган, определяющий и координирующий техническую политику в области судоремонта.

5. Функционирование системы ТО и Р. Вопросы ТО и Р неразрывно связаны между собой и требуют наличия определенной системы. Эксплуатация и правильность боевого применения кораблей должны гарантироваться надлежащим ТО и Р.

Решать изолированно друг от друга проблемы ТО и Р нельзя. Осуществлять ТО неработоспособного или своевременно неотремонтированного оборудования бессмысленно. Также бессмысленно вкладывать деньги в ремонт, не обеспечив надлежащего ТО в процессе эксплуатации.

При рассмотрении ситуации в гражданском судовладении и ВМФ необходимо отметить существенные различия. Так, в ВМФ нормативно-техническое обеспечение ТО и Р определяется более чем 120 документами федерального законодательства, постановлениями правительства (ГОСТ, ОСТ, правилами, руководствами и т.п.), которые безупречны, но не увязаны организационно и технически с конкретным кораблем и между собой. Таким образом, система ТО и Р документально не оформлена и поэтому эффективно не работает.

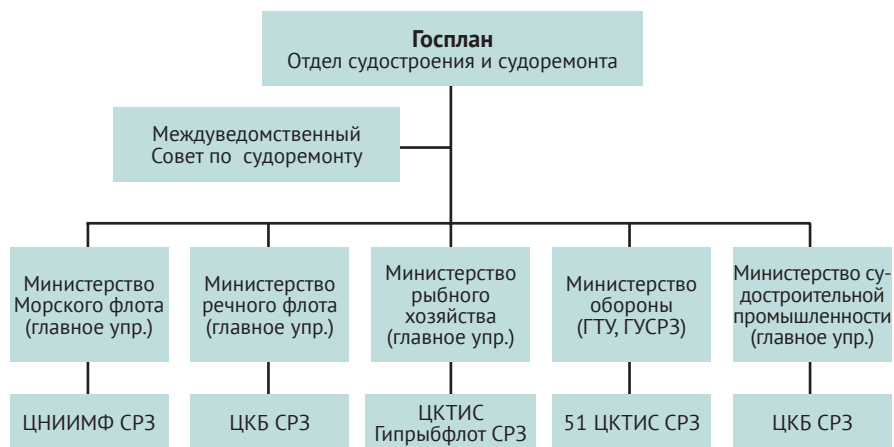


Рис. 1. Схема взаимодействия и состав МВС

Состав Межведомственного совета по судоремонту при Госплане СССР

Юрьев И. Г	Пред. Совета, зам. нач. отдела судостроительной пром. и судоремонта Госплана СССР
Горюнов Н.С.	Зам. председателя, начальник управления, член коллегии Минрыбхоза СССР
Геворков А.М.	Зам. председателя, начальник Главного управления ВМФ (ГУ СРЗ)
Полянский Б.Н.	Зам. председателя, начальник Главного управления Минсудпрома
Рыжов Ф.Л.	Зам. председателя, начальник Главного управления Минречфлота РСФСР
Яценко В.С.	Зам. председателя, к.т.н., начальник Главного управления, член коллегии Минморфлота
Головкин В.В.	Ученый секретарь совета, эксперт Госплана СССР

Агеев Е. П.	Нач. отдела Минречфлота РСФСР	Лылов Б.А.	К.т.н., нач. отдела ЦНИИ экономики водного транспорта Минречфлота
Анапольский Н.А.	Нач. отдела Лен. отд. Гипрорыбпрома Минрыбхоза СССР	Максимов М.	Директор Славянского СРЗ Минморфлота
Амосов В.В.	Нач. Горьковского ЦКБ Минречфлота РСФСР	Милейко Н.Н.	Гл. инженер Западного СРЗ Минрыбхоза СССР
Архангородский А.Г.	Д.т.н., засл. деятель науки и техники РСФСР, зав. кафедрой Калининградского технического инст-та рыбной пром. и хоз-ва	Мухин В.С.	Нач. военно-морской кафедры Ленинградского кораблестроительного института
Белов Н.М.	С.н.с. Института комплексных транспортных проблем Госплана	Никифоров В.	Зав. кафедрой Ленинградского института водного транспорта
Бакаев А.С.	Нач. отдела Главного управления Минсудпрома	Напалков В.И.	Нач.отдела Главного управления ВМФ (ГУСРЗ)
Бабынин Н.Ф.	Гл. инженер управления Минморфлота	Павлов П. Я.	Заместитель начальника Главного управления Военно-Морского Флота(ГУСРЗ)
Богачев В.М.	Гл. инженер Таллинского СРЗ Минрыбхоза СССР	Москалев В.В.	Гл. инженер ЦКТБ ВМФ (51 ЦКТИС)
Борчевский О.А.	Доцент Ленинградского кораблестроительного института	Нунупаров С.	Доцент, нач. Черноморского ЦПКБ Минморфлота
Владимирский А.Л	Гл. инженер Ильичевского СРЗ Минморфлота	Осадченко С.	Нач. подотдела Госплана СССР
Власов Б.К.	Гл. инженер Мурманского объединения «Судоверфь» МРХ СССР	Никулкин Е.Ф.	Директор Центрального конструкторско-технологического института судоремонта
Гончар В.Л.	Нач. ПЭО Севастопольского мор. Завода им.С.Орджоникидзе	Роголин А.Н.	Директор Ильичевского СРЗ Минморфлота
Горшков Ю.В.	Гл. инженер Главного управления ВМФ	Дудоров А.И.	Старший эксперт Госплана СССР
Долгов В.П.	Гл. инженер завода «Звезда» Минсудпрома	Попов И.В.	Гл. инженер Главного управления ВМФ (ГУСРЗ)
Драницин С.	К. т. н., заместитель директора ЦНИИМФ Минморфлота	Простокишин	Гл. инженер Приморского ЦКБ Минсудпрома
Дубчак В.Х.	Нач. управления Минморфлота, председатель Центрального правления НТО водного транспорта	Полуляхов Е.	Зам. начальника Главного управления «Азчеррыба» Минрыбхоза СССР
Полюшкин В.С.	К. т. н., нач. сектора НИР Союзмортипроекта Минморфлота	Розанов В.В.	К.э.н., начлаб. ЦНИИ информации и технико-экономических исследований МРХ
Думбров Л.И.	Заместитель гл. инженера Дальзавода Минсудпрома	Савин А.В.	Гл. инженер Главремфлота СССР
Ермаков А. П.	Проф. Института комплексных транспортных проблем	Смуrow А.А	Нач. отдела Главного управления Военно-Морского Флота (ГУСРЗ)
Кулик Ю.Г.	К. т. н., зав. каф. Горьковского института инженеров водного транспорта	Сойфер С.Л.	Нач. службы судоремонтных заводов Черноморского пароходства Минморфлота
Зрячев А. Ф.	Директор машиностроительного предприятия «Звездочка»	Старжинский В.	Гл. инженер Главного управления «Дальрыба» Минрыбхоза СССР
Жуков В. Ф.	Зам. гл. инженера машиностроительного предприятия «Звездочка»	Ступиков Ю.А	Нач. отдела Главного управления Минсудпрома
Киреев С.В.	Гл. инженер Главного управления «Севрыба» Минрыбхоза СССР	Субборин И. А	Нач. отдела ПЭУ Минречфлота РСФСР
Ключкин Ф.А.	Нач. Балтийского ЦПКБ Минморфлота	Танхельсон Г.	Зам. гл. инженера Союзмортипроекта Минморфлота
Ковырзин Б.А.	Нач. управления Главремфлота Минрыбхоза СССР	Теличев Н.З.	Гл. инженер Главного управления «Запрыба» Минрыбхоза СССР
Кондриков А.Ф.	Директор Калининградского завода Минрыбхоза СССР	Трофимов В.	Директор Тольяттинского СРЗ Минречфлота РСФСР
Кузнецов Г.А.	Директор Рижского СРЗ Минморфлота	Ульянов Н.И.	Гл. специалист Госплана СССР
Кузьмин Г. В.	Гл. инженер Клайпедского СРЗ Минморфлота	Хозяинов В.И.	Заместитель начальника ПЭУ Минморфлота
Кошечкин А.А.	Гл. технолог Главного управления Минсудпрома	Череватый А. А.	Гл. инженер Севастопольского мор. Завода им.Серго Орджоникидзе Минсудпрома
Лакиза Р.И.	Гл. инженер ЦКБ Минсудпрома	Шалавин Ф.В.	Директор Балтийского СРЗ Минрыбхоза СССР
Липайкин П.А.	Зав. отделом Гипрорыбфлота Минрыбхоза СССР	Яновский И.И.	Директор Омского судостроительно-судоремонтного завода Минречфлота РСФСР

Справедливости ради надо признать, что в гражданском судовладеии благодаря роли классификационных обществ (Морское Регистру судостроения, Речному Регистру) большинство этих

проблем решено и документально оформлено.

В качестве предложения для рассмотрения предлагается:

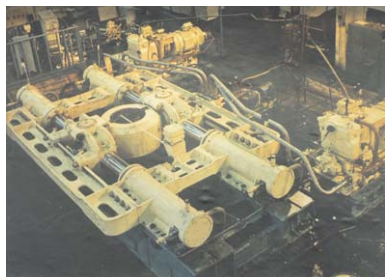
- разработать единую систему (документ) по ТО и Р кораблей и

судов ВМФ, находящихся в эксплуатации,

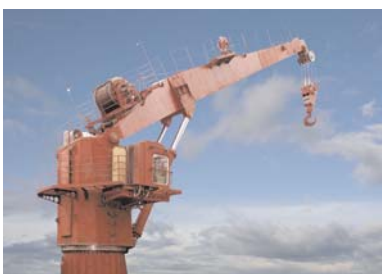
- проанализировать возможность применения в ВМФ отдельных документов Морского и Речного Регистров. ■

Россия, 192029
Санкт-Петербург, ул.Дудко, д.3
Телетайп: 122214 NASOS RU
Тел. (812) 640-11-69
Факс (812) 640-11-72
info@proletarsky.ru
www.proletarsky.ru

Россия, 192029
Санкт-Петербург, ул. Дудко, 3
Тел. (812) 640-1051
Факс (812) 640-1052
sudmash@ sudmash.ru
www.sudmash.ru



ОАО «Пролетарский завод» и ЗАО «ЦНИИ судового машиностроения» в настоящее время представляют собой современный научно-производственный комплекс судового машиностроения, ведущий разработку и поставку широкой номенклатуры конкурентоспособного судового оборудования для строительства отечественного флота.



ЦНИИ судового машиностроения было образовано в 1970 г. для обеспечения научно-обоснованных разработок эффективного оборудования судового машиностроения. В этом же году было создано Научно-производственное объединение в составе ЦНИИ СМ как головного предприятия и «Пролетарского завода».

Сегодня ЗАО «ЦНИИ судового машиностроения» - многопрофильное научно-исследовательское предприятие, обладающее высоким научно-техническим потенциалом, применяющее современные CALS-технологии.



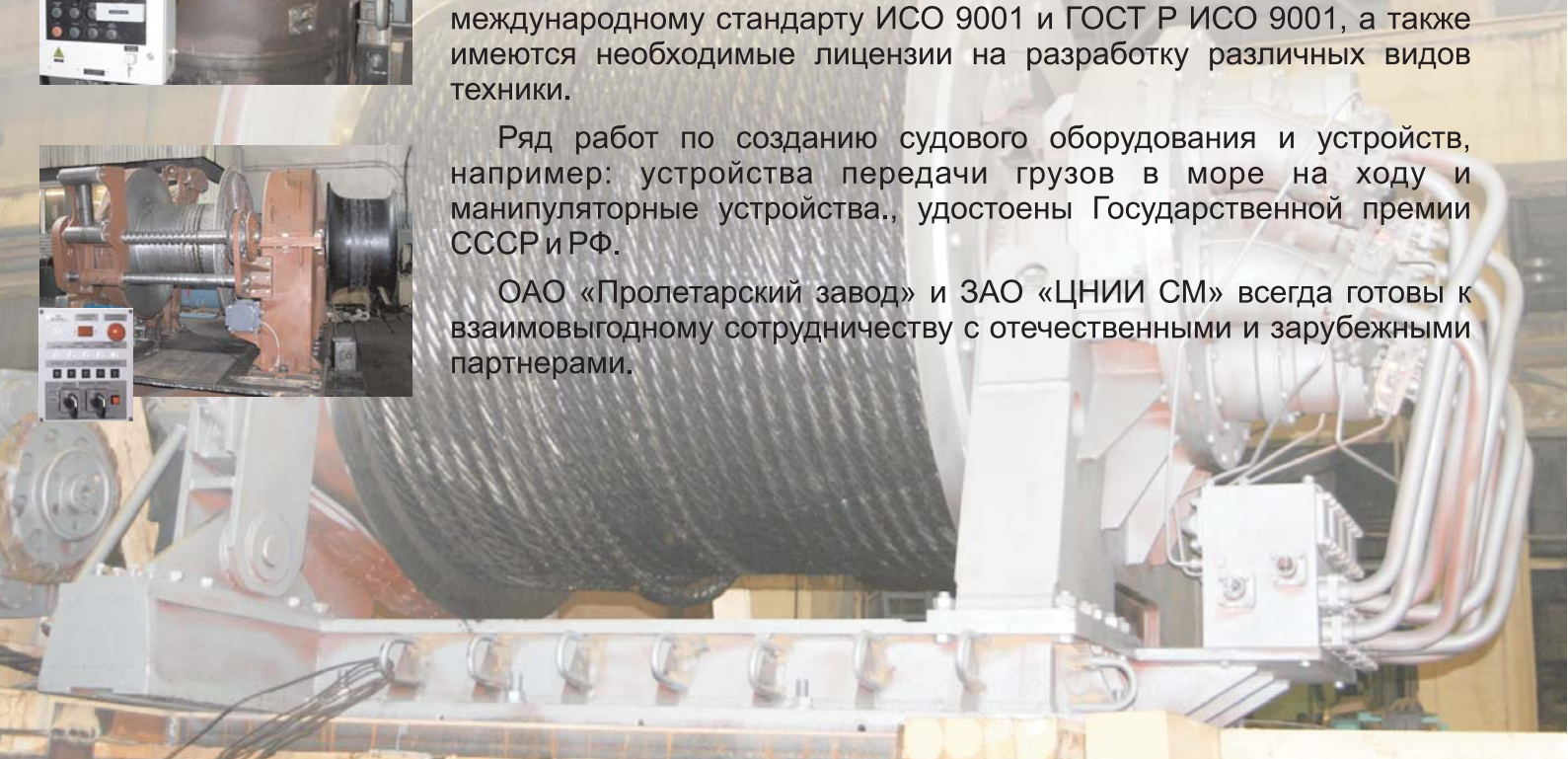
ОАО «Пролетарский завод» совместно с ЗАО «ЦНИИ СМ» создают уникальную продукцию судового машиностроения, успешно используя мировой опыт ведущих зарубежных фирм. Создаваемые изделия обладают высокой конкурентоспособностью в России и за рубежом и в ряде случаев не имеют аналогов в отечественном судостроении.

Продукция судового машиностроения одобрена Морским Регистром РФ, а также может поставляться с сертификатами иностранных классификационных обществ. В 2008 г. получены сертификаты соответствия системы менеджмента качества международному стандарту ИСО 9001 и ГОСТ Р ИСО 9001, а также имеются необходимые лицензии на разработку различных видов техники.



Ряд работ по созданию судового оборудования и устройств, например: устройства передачи грузов в море на ходу и манипуляторные устройства., удостоены Государственной премии СССР и РФ.

ОАО «Пролетарский завод» и ЗАО «ЦНИИ СМ» всегда готовы к взаимовыгодному сотрудничеству с отечественными и зарубежными партнерами.



Одним из эффективных направлений повышения конкурентоспособности судового машиностроительного оборудования являются работы по снижению металлоемкости изделий при обеспечении требуемых прочностных качеств несущих металлоконструкций, так как от этого зависят стоимость, сроки изготовления, эксплуатационные затраты и ряд других факторов. На сегодняшний день, для того чтобы успешно представлять свою продукцию на рынке, необходимо стремиться к получению легких, эргономичных конструкций. Решать подобного рода задачи необходимо на этапе проектирования изделия.

В последние десятилетия намечается стремительный переход от допустимых инженерных решений к оптимальным решениям. Однако современная теория оптимизации пока не удовлетворяет требованиям инженера-проектировщика в связи с тем, что ее строгие математические методы не учитывают реальных ситуаций проектно-конструкторских задач.

Вместе с тем современная, все более усложняющаяся практика проектирования и конструирования нуждается в эффективных математических средствах решения таких задач. Характерной чертой нового подхода является комплексная разработка, позволяющая проектировать систему в целом, а не по отдельным ее частям. Поэтому одной из чрезвычайно важных научных и прикладных задач становится разработка методологии оптимального проектирования сложных технических систем – системного проектирования.

Конструкцию характеризует ряд показателей: стоимость, надежность, вес, габариты, время разработки и др., которые могут находиться во взаимном противоречии. Трудность решения задачи состоит в недостатке априорной информации, необходимой для поиска оптимального варианта конструкции. Поэтому процедуру проектирования целесообразно строить так, чтобы на каждом его последующем этапе объем информации о конструкции возрастал. В то же время необходимо исключать неудовлетворительные варианты, выявленные в ходе проектирования.

Таким образом, должны сочетаться две тенденции – генерация многообразия вариантов и усечение выявленного множества. Предлагаемая процедура проектирования согласуется с эволюционной стратегией оптимизации и, в частности, с генетическими алгоритмами.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ

Проектирование конструкции представляется в виде некоторой последо-

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НЕСУЩИХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ СУДОВЫХ МЕХАНИЗМОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

А.А. Арутюнян, канд. техн. наук,

генеральный директор ОАО «Пролетарский завод»,

В.Д. Суслов, канд. техн. наук, директор,

В.Д. Завирухо, советник генерального директора – ученый секретарь,

А.А. Георгиев, начальник сектора судовых кранов, ЗАО «ЦНИИ СМ»,

контакт. тел. (812) 640 1004

вательности уровней ее разработки, которые характеризуются степенью детализации элементов. Такой способ проектирования можно связать с некоторой иерархической моделью, обладающей спецификой иного класса структурных эволюционных моделей – деревьев последовательных решений.

Генетические алгоритмы получили развитие в середине 60-х гг. XX в. Они имитируют эволюционный процесс при особом акценте на генетические механизмы, т. е. перенос и изменение свойств объектов. Осуществляется это некоторым числом (выборкой) искусственных образцов. Каждое множество признаков содержит n свойств, которые соответствуют n искомым переменным оптимизационной задачи. Генетические алгоритмы, как и эволюционные алгоритмы вообще, применяют для поиска глобального экстремума функции многих переменных. Принцип их работы основан на моделировании некоторых механизмов популяционной генетики: манипулировании множеством признаков при формировании типа нового образца.

На рис. 1 представлен генетический алгоритм. Главная идея процедуры состоит в том, чтобы улучшать качество образцов первой генерации выборки, пока не будет достигнут критерий прекращения:

1. *Начальная выборка.* Вначале необходимо создать начальный набор образцов. Так как о целевой функции еще ничего неизвестно, примем свойства образцов в ранее установленной области случайными и равномерно

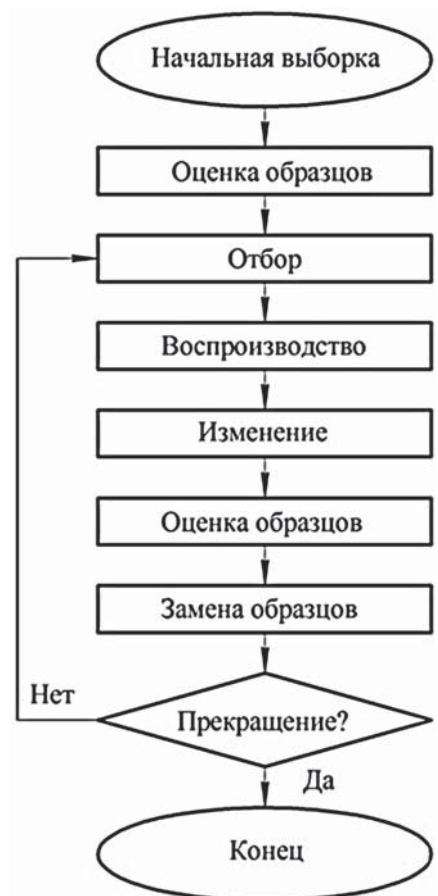


Рис. 1. Схема генетического алгоритма

распределенными, сопоставимо с методом Монте-Карло.

2. *Оценка образцов.* Каждому из вновь сгенерированных образцов необходимо на основании целевой функции определить степень качества. После этого можно начать петлю ге-

нераций в стремлении улучшить качество объектов.

3. *Отбор* – первый шаг к этому улучшению, при котором образцы по стратегии выбираются случайно или на основе их прежней степени качества. Этот выбор служит либо продолжением генераций, либо передачей элитного статуса. Образец с элитным статусом нельзя ни исключить из фактической генерации, ни изменить.

4. *Воспроизводство* означает продолжение генераций отобранных для этого образцов. Простейший способ – копирование образцов. Стратегия генетического алгоритма пытается помимо этого путем рекомбинации свойств на множестве признаков генерировать лучшие образцы. Как правило, при этом из предшествующих образцов образуются пары, которые обмениваются между собой свойствами случайным образом и образуют таким образом два новых образца.

5. *Изменение отдельных свойств множества признаков*. Благодаря этому при генетическом алгоритме множество признаков должно обновляться, потому что с размножением свойств шла бы потеря многообразия множества обычно уже после малого числа генераций.

6. *Оценка полученных образцов*. После того как путем переноса и изменения множества признаков образцы изменены, необходимо для каждого из сгенерированного решения определить степень качества.

7. *Замена образцов*. В конце петли генерации необходимо установить, какие образцы из выборки исключаются. Иначе без замены выборка росла бы все дальше. Генетические алгоритмы заменяют обычно большинство предшествующих образцов вновь сгенерированными.

8. *Критерий прекращения* определяет длительность процесса оптимизации и имеет решающее значение для оценки результата. Используются два варианта формулировки критерия прекращения:

8.1) Контроль степени, в результате которого процесс прекращается, если в рамках установленного числа генераций максимальная величина степени качества в выборке кардинально не улучшается;

8.2) Установление числа генераций.

Оба варианта имеют несовершенство. При первом варианте может случиться, что максимальная степень качества выборки долгое время не изменяется, а затем, например, вследствие удачного изменения, наступает ее улучшение. Поэтому в случае слишком раннего прекращения достигается

лишь субоптимум. При втором варианте критерия оптимум вообще не ставится во главу угла. Часто выбирается решение, удовлетворяющее в достаточной мере допускам, установленным для варьируемых параметров.

В этом случае все же необходимо проведение оптимизационных процессов с различным числом генераций, чтобы можно было дать определенную оценку результата. Путем отбора и исключения образцов с относительно плохой степенью качества выборка также переоценивается. Разумеется, вследствие этого множество признаков может потерять отдельные хорошие свойства. Генетический алгоритм пытается сделать эти потери по возможности малыми.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТАЛЬНОЙ РАМЫ

В качестве примера рассмотрим проектирование стальной рамы. Минимизируется объем, а вместе с этим вес и расход материала. Задаются дополнительные условия, касающиеся условий прочности и устойчивости, общей и локальной. В качестве материала применяется сталь со следующими характеристиками: плотность $\rho = 78,5$ кН/м³; модуль продольной упругости $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент поперечной деформации $\nu = 0,3$; предел текучести $R_{yn} = 360$ МПа, расчетное сопротивление $R_y = 300$ МПа.

Заданы размеры рамы: $l_c = 4,8$ м, $l_p = 4$ м и интенсивность нагрузки на горизонтальную проекцию ригеля 8 кН/м. Оптимизируется 9 параметров системы (рис. 2): b – половина ширины полки двутавра; h_{pl} – высота сечения ригеля слева; h_{pn} – высота

сечения ригеля справа; h_{cb} – высота сечения стойки вверх; h_{cn} – высота сечения стойки вниз; t_{pn} и t_{pc} , t_{cn} и t_{cc} – толщина полки и стенки ригеля и стойки соответственно.

Из условий соблюдения локальной устойчивости элементов двутаврового сечения установлены допустимые отношения их размеров: для полки – 10, для стойки – 110. Верхняя и нижняя границы искомых переменных устанавливаются следующими (в сантиметрах):

$$5 \leq b \leq 15; 10 \leq h_{pl} \leq 30; 10 \leq h_{pn} \leq 30; \\ 0,5 \leq t_{pn} \leq 1,5; 0,5 \leq t_{pc} \leq 1,5; \\ 10 \leq h_{cb} \leq 30; 10 \leq h_{cn} \leq 30; 0,5 \leq t_{cn} \leq 1,5; \\ 0,5 \leq t_{cc} \leq 1,5.$$

Целевая функция, выражающая объем материала рамы, имеет вид

$$V = 2,4 \cdot t_{cc} \cdot (h_{cb} + h_{cn} - 2 \cdot t_{cn}) + \\ + 2 \cdot t_{pc} \cdot (h_{pl} + h_{pn} - 2 \cdot t_{pn}) + \\ + b \cdot (19,2 \cdot t_{cn} + 16 \cdot t_{pn}).$$

Это же выражение с обратным знаком определяет фитнес-функцию.

Используя для расчета метод конечных элементов, разбиваем половину объема рамы на 108 элементов: 48 в ригеле и 60 в стойке, при этом в поперечном сечении – 6 элементов (по 2 в полке и стенке). В соответствии с числом оптимизируемых параметров вводим модель множества признаков:

b	h_{pn}	h_{pl}	h_{cb}	h_{cn}	t_{pn}	t_{pc}	t_{cn}	t_{cc}
-----	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Элементы сведены в четыре группы – полка и стенка ригеля, полка и стенка стойки. Узлы сведены в 26 групп, передвижения которых соответствуют свойствам множества признаков.

Для расчета рамы применялись следующие параметры: образцов 20; гене-

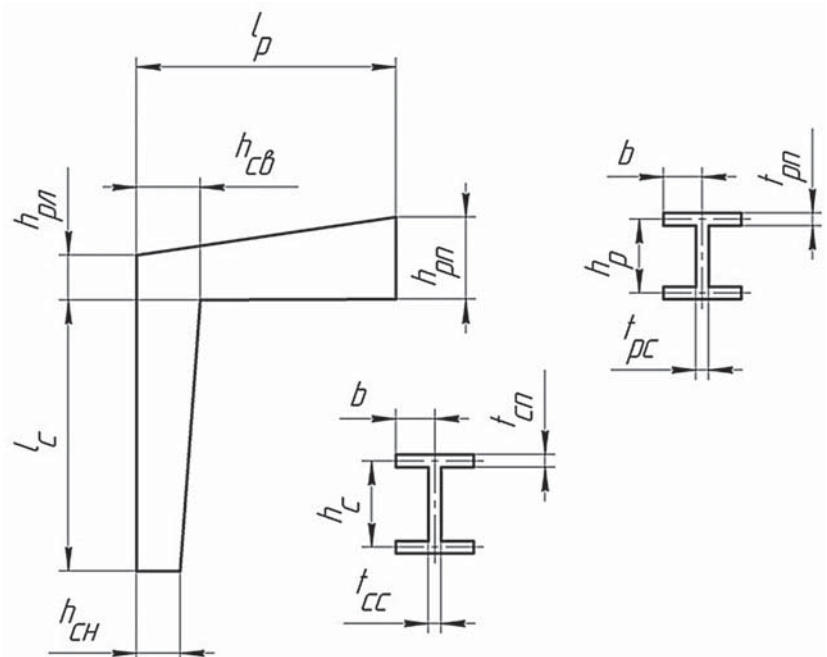


Рис. 2. Профиль рамы и сечения ригеля и стойки

Размеры элементов профилей

	b	h_{pn}	h_{pn}	h_{cb}	h_{cn}	t_{pn}	t_{pc}	t_{cn}	t_{cc}
1	55	138	143	6,4	5,0	100	105	5,0	5,0
2	69	209	231	5,7	5,1	298	281	6,6	5,0
3	50	120	157	5,6	5,0	102	158	5,0	5,0
4	50	120	194	5,6	5,0	101	108	5,0	5,0
5	63	191	252	5,2	5,0	191	300	5,8	5,0
6	50	115	123	7,0	5,0	102	119	5,0	5,0
7	50	161	162	5,5	5,0	101	121	5,0	5,0
8	51	128	169	5,6	5,0	103	116	5,0	5,1
9	51	131	154	6,1	5,1	102	120	5,0	5,0
10	50	126	161	5,8	5,0	110	117	5,1	5,1

Таблица 2.

Геометрические характеристики рамы и напряжения

	V	σ	b/t_{pn}	b/t_{cn}
1	0,0150	161	7,4	9,4
2	0,0265	160	11,7	10,1
3	0,0150	161	8,5	9,5
4	0,0147	160	8,4	9,5
5	0,0224	388	11,5	10,4
6	0,0153	338	6,8	9,5
7	0,0149	162	8,6	9,5
8	0,0149	162	8,7	9,7
9	0,0152	162	7,9	9,7
10	0,0149	161	8,2	9,3

раций 300; давление отбора – 0,1; норма изменения – 0,05; число замен – 15. Отклонения для изменений носили линейный характер и составляли для толщин полок и стенок 0,001...0,0001, а для других элементов 0,01...0,001.

Достигнутые результаты (в миллиметрах) представлены в табл. 1.

В табл. 2 представлены объем рамы V , м³, наибольшее нормальное напряжение σ , МПа, и отношение b/t_{pn} и b/t_{cn} .

Из табл. 2 видно, что отношения b/t_{pn} и b/t_{cn} превышены во 2-й и 5-й строках. В 5-й и 6-й строках превышено расчетное сопротивление. Таким образом, тремя вариантами решения следует пренебречь. Толщины стенок соответствуют принятой нижней границе. Остальные

размеры находятся в пределах установленных границ. В семи оставленных вариантах решения объем отличается незначительно (в пределах 3,4 %). Минимальному объему соответствует 4-й вариант решения.

ВЫВОДЫ

1. Генетические алгоритмы являются мощным поисковым средством. Решение, полученное на их основе, субоптимально, но это не мешает применять алгоритмы для поиска глобальных экстремумов при оптимизации несущих конструкций.

2. Генетические алгоритмы по сравнению с известными аналитическими методами оптимизации приемлемы

для решения многопараметрических невыпуклых задач.

3. Решение можно уточнить, увеличив густоту сетки конечных элементов. При увеличении количества оптимизируемых параметров возрастает число образцов и генераций. Вместе с тем повышаются затраты машинного времени, что в ряде случаев может служить показателем оценки использования генетических алгоритмов.

Следует отметить, что применение генетического алгоритма для оптимизации несущих металлоконструкций показало его высокую эффективность. Большое число варьируемых параметров не позволяет использовать методы простого перебора вариантов. Метод наискорейшего спуска и другие вычислительные методы могут быть использованы для решения таких задач, однако отсутствие аналитических выражений и сложность алгоритмов ограничивают их возможности. Без особых усложнений предложенный способ оптимизации может быть использован и в пространственных статически определимых и статически неопределимых системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с.
2. Пелешко И.Д., Юрченко В.В. Использование генетических алгоритмов для поиска оптимальных проектных решений металлических конструкций. – VIII Украин. науч.-техн. конфер. «Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее» (18–22 октября 2004, г. Киев. Украина) / Сб. докл. – Ч. 1 / Под общ. ред. А.В.Шимановского. – Киев: Сталь, 2004. – С. 250–260.
3. Батищев Д.И., Исаев С.А. Оптимизация многоэкстремальных функций с помощью генетических алгоритмов. – Высокие технологии в технике, медицине и образовании: Межвуз. сб. – Ч. 3. – Воронеж: Изд. ВГТУ, 1997. ■

Дальневосточный арматурный завод ОАО «Аскольд» – единственное на Дальнем Востоке предприятие, которое изготавливает общесудовую трубопроводную и специальную арматуру высокого и низкого давления диаметром до 350 мм из бронзы, латуни, нержавеющей стали и специальных сплавов, всего – более 1200 наименований изделий, рассчитанных на срок эксплуатации до 27 лет.

Продукция предприятия входит в комплектацию современных кораблей ВМФ России. На внешнем рынке «Аскольд» выступает соисполнителем экспортных контрактов для ВМС Индии, Венесуэлы, Китая и Вьетнама.

Система менеджмента качества предприятия сертифицирована по ГОСТ ИСО 9001–2008. ОАО «Аскольд» имеет свидетельство о признании изготовителя Российским Морским Регистром судоходства и Российским речным регистром.

ОАО «Аскольд» производит судовую арматуру с ручным и дистанционным управлением, в том числе:

- затворы, клапаны, краны;
- задвижки;
- клапанные и указательные колонки;
- пожарную арматуру;
- штуцерно-торцевые соединения;
- другие изделия, предназначенные для комплектования как военных кораблей, подводных лодок всех типов, так и гражданских судов.

С 2005 г. предприятие входит в ЗАО «Холдинг «СПЕЦКОМПЛЕКТРЕСУРС» (г. Москва). Благодаря мощным инвестициям акционеров на заводе реализуется программа модернизации металлорежущего оборудования. Идет замена ус-

ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА ПРОИЗВОДСТВА ОАО «АСКОЛЬД» – ЗАЛОГ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

*Л. В. Колесников, генеральный директор ОАО «Аскольд»,
контакт. тел. 8 (42361) 41 622*



Л. В. Колесников

таревших универсальных станков на современные зарубежного производства. Организован участок токарных обрабатывающих центров немецкой фирмы «DMG» серии СТХ. Проходят капитальный ремонт и глубокую модернизацию фрезерно-расточные обрабатывающие центры ИР-500 отечественно производства.

ОАО «Аскольд» располагает собственной лабораторией входного контроля качества материалов. Обновлено оборудование испытательных стендов трубопроводной арматуры в различных средах: воздух, вода, машинное масло, топливо.

Дальневосточный арматурный завод «Аскольд» поставляет свою продукцию на все ведущие верфи Российской Федерации от Тихого океана до Балтийского моря. Предприятие сотрудничает с ведущими проектными центрами кораблестроения и морской техники России: ЦКБ «Рубин», КБ «Армас», «Северное ПКБ», КБ «Алмаз», КБ «Малахит» и другими организациями.

За последние несколько лет «Аскольд» планомерно увеличивает объем выпускаемой продукции, в среднем на 30% в год.

Понимая, что в современных экономических условиях развитие предприятия означает расширение связей, руководство «Аскольда» активно ищет контакты в целях взаимовыгодного сотрудничества с проектантами новых судов военного и гражданского назначения.

ОАО «Аскольд» имеет свои представительства в Москве, Санкт-Петербурге, Мурманске и во Владивостоке. Специалисты предприятия в сжатые сроки проводят регламентный ремонт, поставку новой арматуры, ее замену и проводят технический надзор на объектах заказчика.

Дальневосточный арматурный завод ОАО «Аскольд» приглашает заинтересованные стороны к установлению долгосрочных и взаимовыгодных партнерских отношений. ■

г. Арсеньев, Приморский край,
Отдел маркетинга, ОАО «Аскольд»,
Тел: 8-42361-41622,
факс 8 (42361) 414 86,
info@ascold.ru,
http: www.ascold.ru



Титановая запорная арматура производства ОАО «Аскольд»

В 1967 г. в СПбГМТУ (тогда Ленинградский кораблестроительный институт) в интересах военно-морского флота приступили к разработке ядерного моноблочного паропроизводящего агрегата (ППА), в котором циркуляция теплоносителя первого контура осуществлялась пароводяными струйными аппаратами (ПВСА). Разработанный ядерный моноблочный ППА получил название «Бета». ПВСА располагались внутри прочного корпуса моноблока. Струйные аппараты были специально разработаны для использования в ППА и имели высокий коэффициент инжекции и достаточный срывной напор.

Ядерный моноблочный ППА типа «Бета» – это двухконтурная ядерная паропроизводящая установка, поэтому наследует при штатной работе уровень радиационной безопасности, характерный для двухконтурных установок.

В ППА типа «Бета» использована кипящая водо-водяная активная зона с достаточно низким массовым паросодержанием на выходе (менее 7%), обладающая в большой степени свойством саморегулирования. Более подробно устройство ППА «Бета» описано в статье [1].

В течение последующих лет в СПбГМТУ на Приморской учебно-

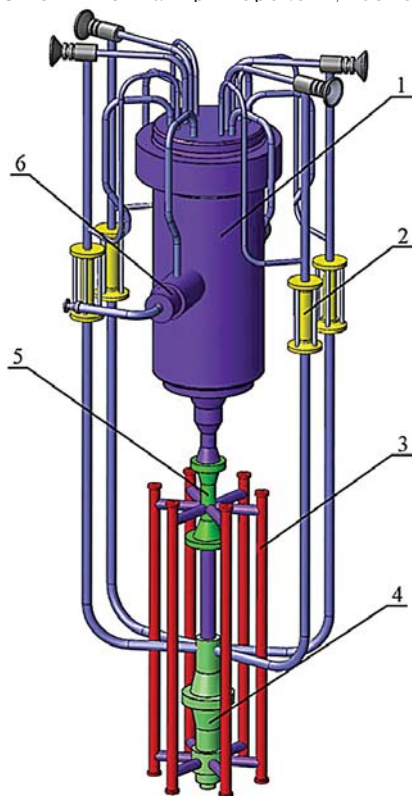


Рис. 1. Испытательный стенд «Бета-К»

1 – парогенератор с компенсатором объема; 2 – ПВСА; 3 – собирающий коллектор; 4 – раздающий коллектор; 5 – элементы нагревателя; 6 – цапф-подвесы.

ПОЛУНАТУРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СУДОВОГО ЯДЕРНОГО МОНОБЛОЧНОГО ПАРПРОИЗВОДЯЩЕГО АГРЕГАТА «БЕТА»

*Н.П. Шаманов, д-р техн. наук, проф.,
В.В. Кожемякин, канд. техн. наук, доцент,
Д.Н. Шаманов, инженер, зав. сектором,
В.Б. Соломянский, канд. техн. наук, зав. сектором,
И.М. Алексеенко, аспирант, СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 714 0651*

научной базе был создан испытательный стенд «Бета-К» (рис. 1). Он предназначен для физического моделирования основных теплофизических и гидродинамических процессов, протекающих в установках ППА типа «Бета». В качестве эмуляторов активной зоны применены шесть электродных нагревателей общей мощностью до 150 кВт.

На испытательном стенде проводятся:

- поочередный совместный запуск ПВСА;
- исследование переходных процессов;
- исследование стационарных процессов;
- исследование динамических процессов в компенсаторе объема.

Циркуляция теплоносителя первого контура осуществляется четырьмя струйными аппаратами, расположенными для удобства обслуживания при проведении экспериментов вне прочного корпуса. Парогенератор (ПГ) и компенсатор объема расположены в одном прочном корпусе. Внешний вид ПГ изображен на рис. 2.

Питательная вода подается в парогенератор центробежным питательным насосом через два раздающих коллектора. Пар отбирается через паровой коллектор и конденсируется в теплообменнике. Образовавшийся конденсат забирается питательным насосом и снова подается в парогенератор.

Кроме того, конструктивное исполнение ПВСА позволяет использовать и испытывать проточные части с различной геометрией, наличие механизма управления соплами – определять



Рис. 2. Парогенератор с компенсатором объема (без теплоизоляции)

оптимальные режимы работы ПВСА, а наличие поворотных цапф-подвесов – проводить эксперименты по определению влияния наклонов агрегата на устойчивость работы ПВСА.

В 2010 г. в процессе модернизации стенда «Бета-К» была создана система автоматизированного сбора и обработки информации (АСОИ), предназначенная для сбора и отображения информации, поступающей с датчиков экспериментальной установки в режиме реального времени, а также сохранения информации о параметрах установки за время проведения эксперимента. Элементы и функции автоматизированного дистанционного управления системы АСОИ (рис. 3) позволяют производить контроль параметров энергоустановки в заданных

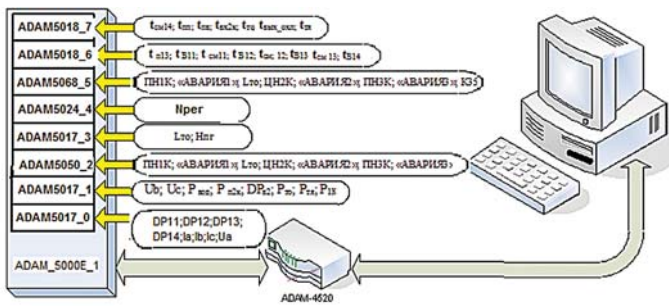


Рис. 3. Состав распределенной системы АСОИ

разработчиком пределах, обеспечивать запуск энергоустановки в действие, работу на возможных режимах эксплуатации, выводить из действия в стандартных и аварийных режимах. Благодаря встроенным графоаналитическим функциям системы АСОИ оператор может наглядно и в удобном виде отображать информацию, поступающую от датчиков энергоустановки и обрабатывать ее, как в реальном масштабе времени, так и при последующем изучении сохраненного системой журнала событий.

Сбор данных основан на использовании контроллеров ADAM-5000. В состав серии ADAM-5000 (Advantech Automation Corporation) входят системы распределенного ввода-вывода данных и управления, а также программируемые контроллеры. ADAM-5000 состоит из трех модульных компонентов: процессора, кросс-платы и модулей ввода-вывода. Каждое устройство может содержать до четырех – восьми модулей. Имеется возможность гибкого конфигурирования системы и входящих в её состав устройств в зависимости от количества и вида контролируемых параметров, а также от

расположения контролируемых объектов. Устройства серии ADAM-5000 можно объединять в много-точечную сеть на базе интерфейса Ethernet или RS-485.

Графическая информация о параметрах теплоносителей в экспериментальной установке «Бета-К» выводится на два дисплея управляющего компьютера. Основной дисплей отображает активную мнемосхему с данными о текущих параметрах установки и пиктограммами системы дистанционного управления (рис. 4). На вспомогательном дисплее отображаются графики выбранных оператором процессов в реальном времени.

Рис. 5 и 6 иллюстрируют возможности обработки экспериментальных данных с помощью системы АСОИ. На модернизированном стенде «Бета-К» в



Рис. 5. Экспериментальные исследования совместного запуска ПВСА (вспомогательный дисплей)

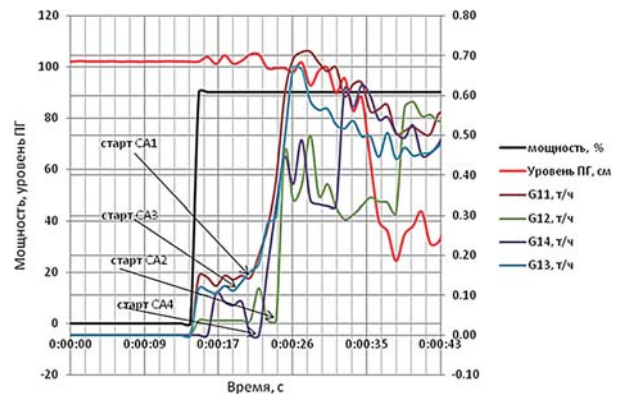


Рис. 6. Экспериментальные исследования совместного запуска ПВСА (обработанные данные)

числе прочих было исследовано влияние положения уровня в компенсаторе объема на совместный запуск струйных аппаратов. На рис. 5 показан вид вспомогательного дисплея во время экспериментов, а на рис. 6 – результаты последующей обработки данных эксперимента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданный на Приморской учебно-научной базе СПбГМТУ испытательный стенд «Бета-К» позволяет осуществлять физическое моделирование стационарных и нестационарных теплофизических и гидродинамических процессов, протекающих в ППА типа «Бета».

Разработанная для стенда система АСОИ обеспечивает сбор и отображение информации, поступающей от датчиков экспериментальной установки в режиме реального времени, а также сохранение информации о параметрах установки за время проведения эксперимента для последующего использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаманов Н.П., Кожмякин В.В., Алексеев И.М., Шкляров Н.В. Ядерный моноблочный паропроизводящий агрегат с кипящей активной зоной, паровым компенсатором объема и струйными средствами циркуляции // Морской вестник. – 2010. – № 2(34). – С. 53–56. ■

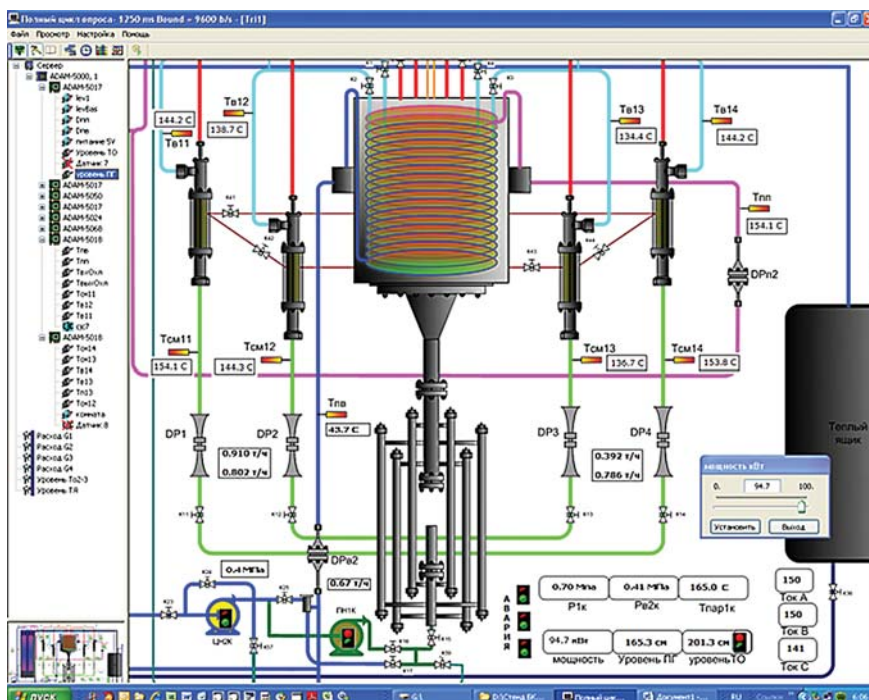


Рис. 4. Активная мнемосхема «Бета-К» (основной дисплей)

Проводящие струйные аппараты (далее – ПВСА) широко применяются в различных отраслях экономики, в частности, в энергетике. Этому способствуют сравнительно простое их устройство, несложная технология изготовления, отсутствие движущихся частей, возможность эффективной работы в качестве циркуляционных устройств в различных схемах. Применение ПВСА в ядерных паропроизводящих установках (далее – ЯППУ), в том числе и судовых, вместо циркуляционных насосов первого контура в кипящих реакторах представляет определенный интерес, однако на практике это не реализовано. Дело в том, что циркуляционные насосы необходимо размещать за пределами прочного корпуса, применение же ПВСА в первом контуре позволяет создавать действительно моноблочную конструкцию, в которой активная зона, компенсатор объема, парогенератор, а также ПВСА размещаются в одном корпусе (рис. 1).

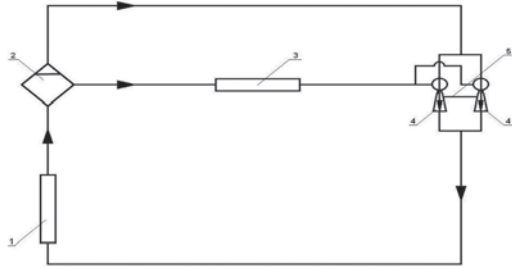


Рис. 1. Схема первого контура ЯППУ с параллельно работающими ПВСА

1 – кипящая активная зона; 2 – сепаратор и компенсатор объема; 3 – парогенератор; 4 – струйные аппараты; 5 – переключатель.

С целью обеспечения плавного запуска и стабильной работы конструкции необходимо применять одновременно несколько ПВСА, что неизбежно вызывает необходимость исследования их параллельной работы.

В моноблочной ЯППУ «БЕТА» [4] предусматривается большое число параллельно работающих струйных аппаратов. При их нормальной работе это не приводит к затруднениям, поскольку влияние противодействия на производительность аппарата отсутствует. Но при работе на малой мощности и в пусковых режимах наблюдаются некоторые явления, которые должны быть специально изучены. Во-первых, это касается запуска нескольких первых аппаратов под действием расхода естественной циркуляции теплоносителя, когда обратные клапаны открыты. Во-вторых, часть струйных аппаратов запускается при закрытых обратных клапанах благодаря наличию переключки между камерами смешения.

Для запуска ПВСА с помощью естественной циркуляции необходимо выполнить ряд условий. Как показали эксперименты, для надежного запуска необходимо, чтобы расход естественной циркуляции был не менее 20% от номинального. Это условие, как правило, выполняется, если сопротивление первого контура при номинальной нагрузке не превышает 1,2–1,5 бар, а высота агрегата составляет 3,5 м или больше.

Необходимым условием запуска неработающего ПВСА является поступление в его приемную камеру пара и воды. Однако выполнение этого условия недостаточно. Необходимо еще, чтобы при поступлении и конденсации пара создавался избыточный напор, приводящий к увеличению производительности ПВСА. Осевое распределение давления в проточной части ПВСА показано на рис. 2.

ОСОБЕННОСТИ ЗАПУСКА СТРУЙНОГО АППАРАТА В ПЕРВОМ КОНТУРЕ ЯДЕРНОЙ ПАРПРОИЗВОДЯЩЕЙ УСТАНОВКИ

Н.П. Шаманов, д-р техн. наук, проф.,
Д.Н. Шаманов, заведующий сектором,
А.Г. Андреев, инженер, СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 714 0651

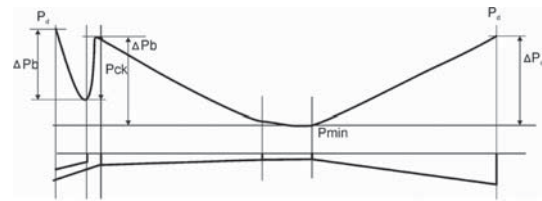


Рис. 2. Распределение давления по длине ПВСА при запуске

В приемной камере ПВСА давление среды падает на величину ΔP_b , определяемую разгоном жидкости и потерями на трение о стенки. В срезе парового сопла пар конденсируется в воде и давление увеличивается на величину ΔP_{ck} . Затем в камере смешения давление воды снова уменьшается до P_{min} вследствие разгона и потерь на трение, и, наконец, из-за торможения в диффузоре возрастает до величины P_d .

Напор ПВСА, равный $\Delta P_{in} = P_d - P_n$ может быть как положительным, так и отрицательным. В первом случае случае запуск АВСА возможен, если

$$\Delta P_{in} \geq \Delta P_{ис}^*$$

где $\Delta P_{ис}$ – сопротивление напорной ветви сети,

$$P_d = P_n - \Delta P_b + \Delta P_{ck} - \Delta P_b' + \Delta P_d \quad (1)$$

или

$$P_{in} = P_d - P_n = \Delta P_{ck} - \Delta P_b - \Delta P_b' + \Delta P_d; \quad (2)$$

$$\Delta P_b' = \frac{G_b^2 v_b}{2f_b^2} (1 + \xi_b) = \frac{G_{cm}^2 v_b}{2f_{nb}^2} \left(\frac{f_{nb}}{f_b} \right)^2 (1 + \xi_b'); \quad (3)$$

$$\Delta P_b' = \frac{G_b^2 v_b}{2f_{cm}^2} (1 + \xi_b') = \frac{G_{cm}^2 v_b}{2f_{nb}^2} \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 (1 + \xi_b') - \frac{G_{cm}^2 v_b}{2f_{nb}^2}; \quad (4)$$

$$\Delta P_{ck} = \frac{G_n^2 v_n}{f_n f_{nb}} + \frac{G_b^2 v_b}{f_b f_{nb}} - \frac{G_{cm}^2 v_b}{f_{nb}^2}; \quad (5)$$

$$\Delta P_d = \frac{G_{cm}^2 v_b}{2f_{cm}^2} \eta_d = \frac{G_{cm}^2 v_b}{2f_{nb}^2} \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 \eta_d. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (2), получаем

$$\Delta P_{in} = \frac{G_n^2 v_n}{2f_n f_{nb}} + \frac{G_b^2 v_b}{2f_b f_{nb}} - \frac{G_{cm}^2 v_b}{2f_{nb}^2} - \frac{G_b^2 v_b}{2f_{nb}^2} \left(\frac{f_{nb}}{f_b} \right)^2 (1 + \xi) - \frac{G_{cm}^2 v_b}{2f_{nb}^2} \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 (1 + \xi_b') + \frac{G_{cm}^2 v_b}{2f_{nb}^2} \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 \eta_d + \frac{G_{cm}^2 v_b}{2f_{nb}^2}; \quad (7)$$

$$\Delta P_{in} = \frac{G_n^2 v_n}{2f_n f_{nb}} + \frac{G_b^2 v_b}{2f_b f_{nb}} - \frac{G_{cm}^2 v_b}{2f_{nb}^2} - \frac{G_b^2 v_b}{2f_{nb}^2} \left(\frac{f_{nb}}{f_b} \right)^2 (1 + \xi) + \frac{G_{cm}^2 v_b}{2f_{nb}^2} \left(1 - \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 \right) (1 + \xi_b') + \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 \eta_d; \quad (8)$$

$$\Delta P_{in} = \frac{G_n^2 v_n}{2 f_n f_{nb}} + \frac{G_b^2 v_b}{2 f_b f_{nb}} \left[2 \frac{f_{nb}}{f_b} - \left(\frac{f_{nb}}{f_b} \right)^2 (1 + \xi_b) \right] - \frac{G_{cm}^2 v_b}{2 f_{nb}^2} \left(1 + \left(\frac{f_{nb}}{f_b} \right)^2 (1 + \xi_b - \eta_d) \right). \quad (9)$$

Разделив (9) почленно на $\frac{G_{cm}^2 v_b}{2 f_{nb}^2}$ и обозначив

$$\Delta P_{in} / \frac{G_{cm}^2 v_b}{2 f_{nb}^2} = E_{in}^*, \quad (10)$$

получим

$$2 \frac{1}{(u+1)^2} \frac{v_n}{v_b} \frac{f_{nb}}{f_n} + \left(\frac{u}{u+1} \right)^2 \left[2 \frac{f_{nb}}{f_b} - \left(\frac{f_{nb}}{f_b} \right)^2 (1 + \xi) \right] - \left(1 + \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 (1 + \xi_b - \eta_d) \right) = E_{in}^*. \quad (11)$$

Принимая $U+1 \approx U$ и

$$f_{nb} = f_n + f_b; \quad U = \frac{f_b}{f_n} \sqrt{\frac{v_n}{v_b(1+\xi)}}, \quad (12)$$

будем иметь

$$2 \left(\frac{f_n}{f_b} \right)^2 (1 + \xi_b) \left(\frac{f_n + f_b}{f_n} \right) + 2 + 2 \frac{f_n}{f_b} - \left(1 + \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 (1 + \xi_b - \eta_d) \right) = E_{in}^*; \quad (13)$$

$$2 \left(\frac{f_n}{f_b} \right)^2 (1 + \xi_b) + 2 \frac{f_n}{f_b} (1 + \xi_b) + 1 + 2 \frac{f_n}{f_b} - (1 + \xi_b) \times \left(1 + 2 \left(\frac{f_n}{f_b} \right) + \left(\frac{f_n}{f_b} \right)^2 \right) - \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 (1 + \xi_b - \eta_d) = E_{in}^*; \quad (14)$$

$$\left(\frac{f_n}{f_b} \right)^2 [2(1 + \xi_b) - (1 + \xi_b)] + 2 \frac{f_n}{f_b} (1 + \xi_b - (1 + \xi_b) + 1) - (1 + \xi_b) + 1 - (1 + \xi_b - \eta_d) \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 = E_{in}^*; \quad (15)$$

$$\left(\frac{f_n}{f_b} \right)^2 [(1 + \xi_b)] + 2 \frac{f_n}{f_b} - (1 + \xi_b) + 1 - (1 + \xi_b - \eta_d) \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 = E_{in}^*. \quad (16)$$

Предполагая, что

$$\frac{f_n}{f_b} = \frac{\varphi}{1 - \varphi}, \quad (17)$$

получаем

$$(1 + \xi_b) \left(\frac{\varphi}{1 - \varphi} \right)^2 + 2 \frac{\varphi}{1 - \varphi} - \xi_b - \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 (1 + \xi_b - \eta_d) = E_{in}^* \quad (18)$$

или, вводя обозначения

$$\left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 E_{in}^* = E_{in}, \quad (19)$$

$$E_{in} = \left(\frac{f_{cm}}{f_{nb}} \right)^2 \left([(1 + \xi_b) \left(\frac{\varphi}{1 - \varphi} \right)^2 + 2 \frac{\varphi}{1 - \varphi} - \xi_b - \left(\frac{f_{nb}}{f_{cm}} \right)^2 (1 + \xi_b - \eta_d)] \right); \quad (20)$$

$$E_{in} = \left(\frac{f_{cm}}{f_{nb}} \right)^2 \left([(1 + \xi_b) \left(\frac{\varphi}{1 - \varphi} \right)^2 + 2 \frac{\varphi}{1 - \varphi} - \xi_b] - (1 + \xi_b - \eta_d) \right) \quad (21)$$

условие запуска запишется в виде $E_{in} \geq E_k^*$, (22)

$$\text{где} \quad E_k^* = \frac{k G_{cm}^2 v_b - H_{dv}}{\Delta P_d^t}. \quad (23)$$

Здесь H_{dv} – движущий напор естественной циркуляции; ΔP_d^t – динамический напор на входе в диффузор.

$$\Delta P_d^t = \frac{k G_{cm}^2 v_b}{2 f_{cm}^2}; \quad (24)$$

$$E_k^* = E_k - H_{dv} / \Delta P_d^t \quad (25)$$

или

$$\Delta P_d^t \left\{ \left(\frac{f_{cm}}{f_{nc}} \right)^2 \times \left[\frac{(1 + \xi_b) \varphi^2 + 2 \varphi - 2 \varphi^2 - (\xi_b + \varphi^2 \xi_b) + 2 \xi_b \varphi}{(1 - \varphi)^2} \right] - \xi_b - (1 - \eta_d) - E_k \right\} \geq -H_{dv}; \quad (26)$$

$$\Delta P_d^t \left\{ \left(\frac{f_{cm}}{f_{nc}} \right)^2 \left[\frac{2 \varphi - \varphi^2 - (\xi_b - 2 \xi_b \varphi)}{(1 - \varphi)^2} \right] - \xi_b - (1 - \eta_d) - E_k \right\} \geq -H_{dv}. \quad (27)$$

Условие (27) позволяет оценить расход естественной циркуляции, достаточный для запуска ПВСА.

Однако при выводе этой зависимости предполагалось, что пар конденсируется непосредственно в срезе парового сопла, что не соответствует результатам экспериментов, выполненных нами на стеклянных моделях. На самом деле паровой факел проникает в камеру смешения довольно далеко.

Предполагая, что полная конденсация пара заканчивается в некотором сечении F_{ns}^n , получаем следующую зависимость:

$$\Delta P_d^t \left\{ \left(\frac{f_{cm}}{f_{nc}} \right)^2 \left[\frac{2 \varphi - \varphi^2 - (\xi_b - 2 \xi_b \varphi)}{(1 - \varphi)^2 \left(\frac{f_{ns0}}{f_{ns0}^n} \right)^2} \right] - \xi_b - (1 - \eta_d) - E_k \right\} \geq -H_{dv}; \quad (28)$$

$$\Delta P_d^t \left\{ \left(\frac{f_{cm}}{f_{nc}} \right)^2 \left[\frac{(\varphi(2 - \varphi + 2 \xi) - \xi_b) \left(\frac{f_{ns0}}{f_{ns0}^n} \right)^2}{(1 - \varphi)^2} \right] - \xi_b - (1 - \eta_d) - E_k \right\} \geq -H_{dv}, \quad (29)$$

где f_{ns0} – сечение камеры смешения в срезе парового сопла.

Анализ формулы (29) позволяет выявить влияние отдельных параметров на запуск ПВСА. Прежде всего очевидно влияние отношения сечения парового сопла к сечению камеры смешения в срезе сопла $f_{nc}/(f_n + f_b)$. Чем это отношение больше, тем запуск легче. Это значит, что с уменьшением коэффициента инжекции запуск осуществляется легче. Заметное положительное влияние на запуск оказывает КПД диффузора. Спротивление контура циркуляции влияет отрицательно.

Для анализа характера влияния на запуск расхода естественной циркуляции необходимо выявить прежде всего связь сечения полной конденсации с величиной расхода естественной циркуляции. В соответствии с имеющимися опытными данными длина парового факела связана в основном с относительным расходом при заданном недогреве смеси до состояния насыщения и зависит от отношения расхода естественной циркуляции к расчету ПВСА при том же недогреве и давлении (рис. 3).

Результаты анализа экспериментальных данных, полученных на прозрачной камере смешения, можно представить в виде

$$x / (L_1 + L_2) = c \left(\frac{G_{eu}}{G(\Delta t_{sc}^t)} \right)^m. \quad (30)$$

Здесь c и m – эмпирические константы, остальные обозначения показаны на рис. 3.

В расчетах принято $c = 1, m = 0,5$.

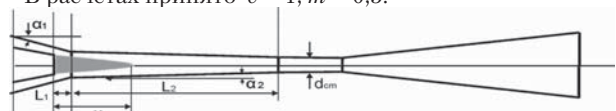


Рис. 3. Схема проточной части ПВСА

Для численного исследования влияния отдельных параметров на пусковые характеристики ПВСА приняты следующие исходные данные:

Давление в контуре, бары	20-100
Недогрев смеси до насыщения, град	5-20
Коэффициент инжекции	8-16
КПД диффузора	0,8-0,9
Угол α_1 , град	12,5-17,5
Расстояние L_1 , мм	1-20
Диаметр, мм:	
камеры смешения	13
парового сопла	11

На графиках относительный расход ЕЦ – $Y = G_{\text{ец}} / G(t_s^{cm})$

На рис. 4 представлены зависимости сопротивления ПВСА при изменении относительного расхода ЕЦ от нуля до номинального значения при давлении 100 бар и недогреве до насыщения 5°. ПВСА имеют разные углы α_2 конусности камеры смешения. У ПВСА1 $\alpha_2 = 0,5^\circ$, ПВСА2 $\alpha_2 = 1,5^\circ$, ПВСА3 $\alpha_2 = 2,5^\circ$. При расходе, близком к нулю, перепад давления в ПВСА отрицательный, и ПВСА представляет собой гидравлическое сопротивление. Расход в контуре циркуляции определяется гидравлическим движущим напором в контуре. При некотором расходе сопротивление достигает максимума по абсолютному значению и затем уменьшается. Участок кривой правее экстремума – неустойчивый. Если движущий напор в контуре сохраняется, ПВСА начинает разгоняться, его расход достигает номинала. Производительность ПВСА в номинальном режиме равна критическому расходу, поэтому противодавление перестает влиять на производительность, определяется по формуле

$$G_b = Af_{cm} \sqrt{2 \frac{p}{v_b} \left[1 - \left(\frac{T_{cm}}{T_n} \right)^{n/(n-1)} \right]} \frac{1}{(1 + (1/U) \sqrt{v_n/v_b})}. \quad (31)$$

Таким образом, для запуска струйного аппарата под действием естественной циркуляции необходимо, чтобы движущий напор естественной циркуляции превышал сопротивление ПВСА в точке экстремума.

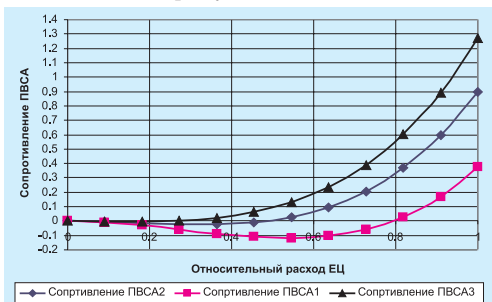


Рис. 4. Зависимость сопротивления ПВСА от относительного расхода ЕЦ при давлении 100 бар и недогреве смеси 5°

Расчеты показывают, что геометрия камеры смешения ПВСА оказывает весьма существенное влияние на условия запуска. Из рис. 4 видно, что при уменьшении угла конусности камеры смешения α_2 запуск существенно усложняется.

Влияние давления в агрегате можно проследить, сравнивая результаты расчетов при 20 бар (рис. 5) с результатами расчетов при давлении 100 бар (рис. 4).

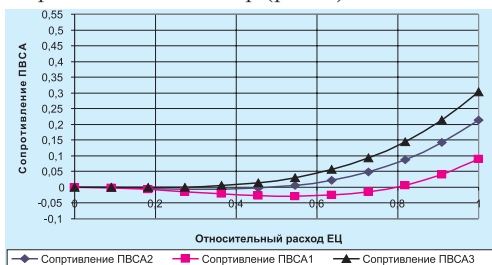


Рис. 5. Зависимость сопротивления ПВСА от относительного расхода ЕЦ при давлении 20 бар и недогреве смеси 5°

Чем ниже давление в агрегате, тем легче осуществляется его запуск. При понижении давления из-за уменьшения расхода ПВСА уменьшается также величина скачка расхода при запуске.

На рис. 6 показаны зависимости сопротивления ПВСА от относительного расхода при давлении 20 бар и недогреве 10°, а на рис. 7 – для 20 бар и 20°. Из этих данных однозначно следует вывод: с увеличением недогрева смеси до состояния насыщения запуск ПВСА становится все более затруднительным.

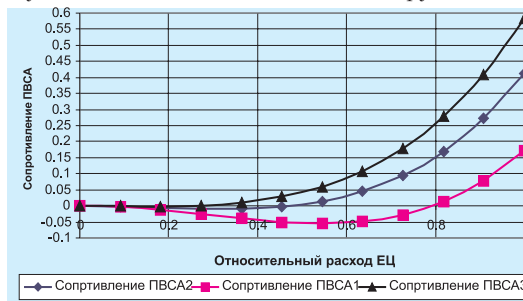


Рис. 6. Зависимость сопротивления ПВСА от относительного расхода ЕЦ при давлении 20 бар и недогреве 10°

На рис. 8 представлены данные для 100 бар и недогреве 20°. Они свидетельствуют о том, что запуск ПВСА при этих условиях становится практически невозможным

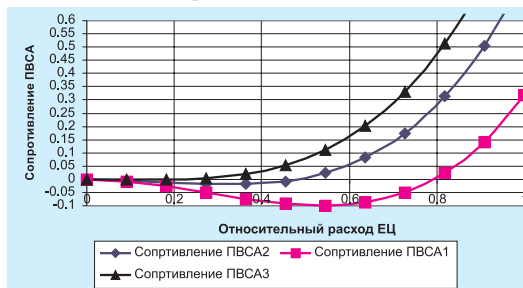


Рис. 7. Зависимость сопротивления ПВСА от относительного расхода ЕЦ при давлении 20 бар и недогреве 20°

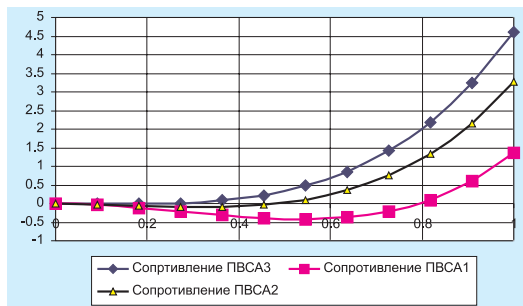


Рис. 8. Зависимость сопротивления ПВСА от относительного расхода ЕЦ при давлении 100 бар и недогреве 20°

ВЫВОДЫ

1. С целью обеспечения конструктивной безопасности ЯППУ возможно применение ПВСА в первом контуре вместо циркуляционного насоса.
2. Для получения требуемых параметров работы установки, а также для плавного запуска требуется применение нескольких параллельно включенных ПВСА.
3. Геометрия ПВСА и параметры теплоносителя должны обеспечивать минимально возможное сопротивление для плавного запуска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 472 с.
2. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – 3-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
3. Шаманов Н.П., Дядик А.Н., Лабинский А.Ю. Двухфазные струйные аппараты. – Л.: Судостроение, 1989. – 240 с.
4. Шаманов Н.П., Кожемякин В.В., Алексеенко И.М., Шкляров Н.В. Ядерный моноблочный паропроизводящий агрегат с кипящей активной зоной, паровым компенсатором объема и струйными средствами циркуляции // Морской вестник. – 2010. – №2. – С. 53–56. ■

Беспрецедентное обострение электромагнитной обстановки на кораблях наряду с резким нарастанием влияния помех различного вида стали тем вызовом, который природа и техника бросили морским инженерам-электрикам в конце XX – начале XXI в. Отсутствие адекватного ответа поставило бы под сомнение само дальнейшее развитие корабельных электронных систем. Ответом на этот вызов времени явилось совершенствование корабельных систем централизованного электропитания (СЦП), которые стали полигоном для отработки новых технологий в схемотехнике, в конструировании, в создании приложений теории цифровой обработки сигналов для силовой электроники, в изучении процессов в корабельном электрооборудовании, в развитии средств и методов испытаний корабельных электронных комплексов [1, 2].

Насущные практические вопросы проектирования СЦП требовали оперативного создания компонентной основы для их реализации. Вопросы создания этой основы активно решались большим количеством специалистов и предприятий (на межотраслевой и межрегиональной основе) в теоретическом и практическом плане [3]. Результаты работ воплощены в имеющейся на настоящий момент обширной линейке средств комплексов СЦП: прежде всего агрегатов бесперебойного питания (АБП) и комплексов ФУ – функциональных устройств (модулей) для реализации составных частей СЦП; а также в значительном количестве печатных трудов и диссертаций по этой тематике [4–10].

Досадно, что все это происходило при практически полном отсутствии работ, посвященных системным вопросам бесперебойного электропитания, т.е. тому, ради чего собственно и осуществлялось создание новой компонентной основы*. Совершенно очевидно, что почти полное отсутствие публикаций по системным вопросам отнюдь не означает, что на начальных стадиях работ не были приняты меры по разработке концепции** бесперебойного электропитания, тем более, что в большинстве публикаций (например, посвященных АБП)

* Другое наименование – «проблемно-ориентированные компоненты» активно используется в научной практике, в том числе в успешно защищенных кандидатских и докторских диссертациях [4, 5], и на настоящий момент фактически узаконено, как наиболее удачно отражающее существо создания компонентной основы.

** Здесь и далее **концепция** (от лат. *conceptio* – понимание, система) – основная точка зрения на предмет (объект, систему), руководящая идея для синтеза (проектирования) системы, способ понимания (трактовок) данных при анализе (исследовании).

БЕСПЕРЕБОЙНОЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

А. Ю. Губанов, специалист ОАО «Системы управления и приборы»,
Ю. А. Губанов, д-р техн. наук, проф., ОАО «Концерн «НПО «Аврора»,
контакт. тел. +7 921 425 9368

эта концепция в явном виде упоминается как основа для создания проблемно-ориентированных компонентов.

О КОНЦЕПЦИИ БЕСПЕРЕБОЙНОСТИ

Разработка концепции бесперебойности была начата НПО «Аврора» в 80-е гг. XX в., при этом с самого начала ключевое слово «бесперебойность» позиционировалось как понятие, принципиально допускающее две трактовки: узконаправленную – обеспечение физического отсутствия перерывов питания на потребителе и расширенную – создание системы питания, инвариантной к реальному качеству корабельной сети (с учетом всех известных параметров качества и электромагнитной совместимости, включая устранение помех). В узконаправленной трактовке разграничивались два принципа организации питания: «принцип бесперебойного питания», подразумевающий полное исключение перерывов питания на потребителе, и «принцип гарантированного питания», допускающий перерыв на время, меньшее времени потенциальной инерционности потребителя как нагрузки обладающей внутренними резервами емкости. В широкой трактовке концепция бесперебойности допускала использование обоих этих принципов в той мере, в которой они обеспечивают достижение поставленной цели.

Сама цель формулируется как синтез сети, обеспеченной всеми ресурсами электроэнергетической системы (ЭЭС) корабля, но инвариантной к качеству электроэнергии, поставляемой этой ЭЭС.

Такая формулировка цели привела к необходимости окончательного принципиального разделения таких понятий (ранее зачастую употреблявшихся, как синонимы), как «электропитание» и «электрообеспечение», а именно: сеть электрообеспечения организована корабельной ЭЭС и связана с параметрами источников, система электрообеспечения обеспечивает потребителям доступ к источникам электроэнергии; сеть электропитания принципиально организуется под параметры потребителей, система электропитания обеспечива-

ет согласование параметров системы электрообеспечения с требованиями потребителей.

Одним из важных постулатов концепции была провозглашена прагматичность: использование при формировании аппаратно-программной платформы систем бесперебойного питания имеющегося задела, традиций и наработок, в том числе применение принципов и компонентной основы, отработанных ранее в составе СЦП на действующих заказах.

В основу подхода к использованию имеющихся на корабле ресурсов были положены аналогии с так называемым «принципом трех источников, независимых по паре», широко применяемым для организации электрообеспечения объектов ядерной безопасности. Принцип, в частности, подразумевает организацию трех независимых источников: основного r_1 , резервного r_2 и аварийного r_3 .

Ресурсы r_1 и r_2 обеспечиваются электроэнергией, вырабатываемой ЭЭС корабля, ресурс r_3 – за счет накопления электроэнергии, запасаемой в аварийной емкости (аккумуляторы, емкостные накопители, суперконденсаторы) и достаточной для поддержания работоспособности потребителя в режиме полного обесточивания, в течение заранее оговоренного времени $\tau_{ном}$. В качестве аварийного источника СЦП могут быть использованы корабельные аккумуляторные батареи (АБ) или специально организованные в СЦП аварийные накопители.

Бесперебойность обеспечивается в течение всего жизненного цикла корабля за счет рационального использования общего ресурса $R \{r_j, j = 1, 2, 3$ всех трех источников. Рациональность достигается изменением технологии управления ресурсами в зависимости от ситуаций C_i из множества $\zeta \{C_i, i = 1 \dots 8$.

Таким образом, аварийный источник представляет собой емкость, запаасающую энергию, поступающую от корабельной ЭЭС при $r_1 = 1$ (или) $r_2 = 1$ (заряд $q(t)$), и отдающую ее при одновременном пропадании основной $r_1 = 0$ и резервной $r_2 = 0$ сетей (разряд $\phi(\tau)$). Значение $\Theta \{R, \phi\}$ полностью характеризует состояние обеспеченности потребителей бесперебойным питанием (табл. 1).

Таблица 1
Управление ресурсами СЦП

$\zeta \{C_j\}$	r_1	r_2	r_3	$q(t)$	$\varphi(\tau)$	$\theta \{R, \varphi\}$
C_1	1	1	1	1	0	1
C_2	1	1	0	-	-	1
C_3	1	0	0	-	-	1
C_4	1	0	1	1	0	1
C_5	0	1	1	1	0	1
C_6	0	1	0	-	-	1
C_7	0	0	1	0	1	1
C_8	0	0	0	-	-	0

Значение реально обеспечиваемого АБ времени разряда на нагрузку $\tau(t, \varepsilon)$ определяется $\varepsilon(t, \hat{u})$ – остаточной емкостью АБ (зависящей от времени t службы АБ и условий ее эксплуатации \hat{u}), а также временем t , в течение которого осуществлялся заряд АБ. Для того чтобы обеспечить значение времени разряда $\tau \geq \tau_{\text{ном}}$ необходимо, чтобы выполнялось условие $t \geq t_{\text{ном}}$. Время t может оказаться существенно меньше $t_{\text{ном}}$ в том случае, если повторная потеря ресурсов r_1 и r_2 произойдет до того, как АБ успеет полностью зарядиться, то есть, иначе говоря, после первого полного обесточивания ЭЭС корабля и разряда АБ повторное обесточивание наступит раньше, чем завершится процесс заряда АБ. Низкому значению остаточной емкости ε соответствует низкий уровень напряжения U АБ. Если напряжение U ниже номинального $U_{\text{н}}$ и даже приближается к минимально допустимому (конечному напряжению достигаемому при разряде) $U_{\text{к}}$ – разряд АБ на нагрузку невозможен. На практике всегда соблюдается условие \hat{U} при котором еще возможен разряд φ АБ на нагрузку

$$\hat{U}: U \geq U_{\text{к}} \Rightarrow \varphi(\tau) := 1. \quad (1)$$

Отношение $U \geq U_{\text{н}}$ характеризует состояние АБ как удовлетворительное, а готовность ресурса r_3 к поддержанию бесперебойности питания в режиме полного обесточивания как высокую. Приближение напряжения U к $U_{\text{к}}$ говорит о выработке ресурса АБ и необходимости ее замены.

Для сохранения ресурса АБ на практике для ряда систем-потребителей может быть задано предельное время $\Delta t \leq \tau_{\text{ном}}$ обеспечения их батарейной поддержкой. Время Δt выбирают, исходя из технологии использования систем-потребителей для борьбы за живучесть при полном обесточивании, возможны варианты обеспечения бесперебойным питанием на время, достаточное для следующих целей:

- безопасного отключения;
- сохранения текущей информации и безопасного отключения;
- записи информации о событиях, предшествовавших обесточиванию, состояния оборудования на момент обесточивания, сохранения текущей информации и безопасного отключения;

– проведения оживления ЭЭС при полном обесточивании.

Последний вариант по существу вообще не должен предполагать возможности отключения системы-потребителя от источника батарейной поддержки до завершения оживления (т.е., если следовать логике оживления, единственной причиной для отключения системы-потребителя может быть полное исчерпание ресурсов АБ, отключение осуществляется по конечному напряжению).

Приведенные выше рассуждения о физической природе и использовании аккумуляторов представляют наибольший интерес для тех случаев, когда отсутствует внешний источник аварийного электроснабжения большой емкости (корабельная АБ) и осуществляется организация аварийной батарейной поддержки, встроенной в приборы СЦП. В этом случае установленная емкость АБ выбирается из условий поддержания токов потребления подключенной нагрузки в течение заданного времени обеспечения ее питания при полном обесточивании. При этом эксплуатация встроенных АБ связана с наличием двух противоречивых факторов:

а) АБ – источник электроэнергии, позволяющий осуществить оживление ЭЭС при полном обесточивании, что дает основание в экстренной ситуации использовать ее ресурсы наиболее эффективно, в том числе нарушая технологические режимы функционирования (при необходимости вплоть до полного разрушения);

б) нарушение условий эксплуатации АБ в процессе жизненного цикла СЦП, нарушение технологических режимов функционирования (прежде всего при заряде и разряде АБ) приводит к преждевременному (значительно ранее срока плановых замен) износу АБ.

Единственно возможным путем разрешения этого противоречия является признание того, что создание аварийного источника путем организации встроенной батарейной поддержки в приборах СЦП связано с позиционированием встроенных аккумуляторов, как расходных материалов, подлежащих оперативной замене личным составом эксплуатирующих организаций при обнаружении признаков выработки ими своего ресурса.

СИСТЕМООБРАЗОВАНИЕ, ДЕКОМПОЗИЦИЯ И СТРУКТУРИЗАЦИЯ

На момент начала разработки концепции бесперебойности история создания СЦП насчитывала уже более 20 лет. СЦП были хорошо изучены в системном плане, в частности, решение вопросов целостности СЦП как большой системы, перед которой поставлен определенный

ряд задач во исполнение единой цели, позволило на этом этапе (до начала эпохи бесперебойности) подвергнуть СЦП декомпозиции и определить компонентную основу СЦП. Цель – объединение ресурсов всех источников корабельной ЭЭС для обеспечения электропитания потребителей КСУ ТС. Задачи подчинены исполнению цели и связаны с обеспечением потребителям доступа ко всем ресурсам, которыми располагает ЭЭС корабля, путем:

- автоматического переключения потребителей на работающий источник с нормальными выходными параметрами электроэнергии;
- дробления совокупной установленной мощности СЦП по фидерам потребления (распределения электроэнергии);
- обеспечения электрических защит фидеров потребления;
- согласования параметров электроэнергии путем преобразования напряжения и (или) преобразования частоты (или рода тока);
- поддержания заданных параметров качества электроэнергии;
- фильтрации (снижения до заданного уровня) помех различного рода.

Выявленные закономерности аддитивности СЦП предыдущих поколений предоставляли возможность преемственности, связанной использованием ранее отработанных решений в виде комплексов и компонентов для реализации бесперебойного питания. Причем ввиду принципиально нового характера и неисследованности систем, реализуемых на основе концепции бесперебойности, для их синтеза использовались методы структуризации, позволяющие осуществлять синтез в условиях частичной неопределенности, вызванной незавершенностью анализа причин целостности вновь синтезируемой системы.

С высоты сегодняшних лет развитие СЦП выглядит как последовательный переход от чисто защитно-распределительных структур к развитым системам силовой электроники. На каждой стадии этого перехода разработчики выделяли основные системообразующие комплексы и компоненты и реализовывали их в виде отдельных ФУ системы (модулей, приборов). Первые поколения СЦП содержали в своем составе устройства автоматического переключения (АПП) сетей r_1 и r_2 , призванные реализовать принцип, который сегодня следовало бы назвать принципом гарантированного питания потребителей [1, 8], а также приборы распределения питания (ПРП) по фидерам. Каждый фидер мог быть включен или выключен индивидуальным тумблером и был защищен плавкой вставкой предохранителя.

$$\text{СЦП} = \{\text{АПП}, \text{ПРП}\}. \quad (2)$$

Повышение требований по помехоустойчивости и несозданию помех (прежде всего помех радиоприему) привело к введению в состав СЦП различных фильтров (Ф):

$$\text{СЦП} = \{\Phi, \text{АПП}, \text{ПРП}\}. \quad (3)$$

Выражение (3) дает представление о компонентном составе СЦП к началу разработки концепции бесперебойного питания. В концептуальном и чисто прагматическом плане компонентный состав должен быть:

- а) проблемно ориентирован на реализацию целей и задач концепции;
- б) технологически ориентирован:
 - с одной стороны, на принципиально новые технологии и элементную базу, освоенные в смежных областях науки и техники и позволяющие получить принципиально новые тактико-технические характеристики и качества;
 - с другой стороны, на существующие традиции, имеющиеся наработки и задел.

В качестве технологической основы для реализации принципа бесперебойности были выбраны:

- широкое использование средств силовой электроники;
- технология двойного преобразования энергии на высокой (десятки-сотни килогерц) частоте*;
- использование IGBT-технологий (транзисторов, модулей);
- разработка стандартной схемотехнической основы для ФУ преобразования электроэнергии и программная реализация алгоритмов управления на основе микроконтроллеров;
- использование DSP-технологий для обеспечения решения всех алгоритмических задач на основе обработки мгновенных значений электрических величин.

Принятые в кораблестроении традиции распределения электроэнергии основаны на использовании магистрального и магистрально-радиального принципов построения и организации защищенных фидеров на каждом уровне распределения. Эти традиции были полностью поддержаны аппаратными средствами ПРП, что делало чрезвычайно привлекательным со-

* Строго говоря, эта технология, будучи принципиально новой, одновременно как бы сохраняла и продолжала традиции применения «электрооборудования с повышенными параметрами», принятые в кораблестроении (при том, что ранее «повышенной» частотой преобразования считалась частота 400 Гц) для тех же целей: улучшение массогабаритных характеристик. Использование новых технологий позволило исключить в ЭЭС спецсети, состоящие из электромеханических двухмашинных преобразователей (их еще иногда называли «вращающимися трансформаторами» за способность не только изменять параметры напряжения в сетях переменного тока, но и изменять частоту переменного тока, а также осуществлять инвертирование постоянного тока в переменный).

хранение ПРП при создании для СЦП нового системообразующего компонента, реализующего на основе одного агрегата все технологии и принципы концепции бесперебойности. Такой системообразующий компонент был назван «АБП» [7].

Компонентную основу СЦП, базирующейся на принципе бесперебойности, хорошо иллюстрирует выражение (4). Наличие в ее составе ПРП первого и второго уровня учитывает принципиальную возможность реализации СЦП, как распределенной системы с большим количеством АБП**, при первичном распределении поступающей от ЭЭС электроэнергии по АБП и вторичном распределении бесперебойного питания защищенными фидерами к потребителям малой мощности:

$$\text{СЦП} = \{\Phi, \text{ПРП1}, \text{АБП}, \text{ПРП2}\}. \quad (4)$$

Компонентную основу АБП иллюстрирует выражение

$$\text{АБП} = \{\Phi, \text{АПП}, \text{МП}, \text{МКЗБ}, \text{МАБ}\}. \quad (5)$$

Наличие АПП (при необходимости) позволяет АБП объединить ресурсы r_1 и r_2 на основе принципа гарантированного питания, снизив вдвое состав дорогостоящей аппаратуры, предназначенной для двойного преобразования электроэнергии, функцию преобразования реализуют модули МП, осуществляющие выпрямление переменного тока с последующим его конвертированием или инвертированием для согласования параметров питания с потребностями потребителя. Модули МАБ предназначены для сбора аккумулятора в батарее, а МКЗБ для обеспечения режимов заряда АБ.

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕСПЕРЕБОЙНОСТИ

В основе алгоритма бесперебойности лежит анализ состояния ресурсов r_j основной, резервной и аварийной сети по оценке диапазона параметров напряжения ΔU_j и (для сетей переменного тока) по оценке диапазона параметров частоты Δf_j . Выражение (6) отражает последовательность выбора ресурса для обеспечения бесперебойности***.

$$\begin{cases} (\Delta U_1 \& \Delta f_1) \vdash r_1; \\ \neg (\Delta U_1 \& \Delta f_1) \vdash r_2; \\ \neg (\Delta U_1 \& \Delta f_1) \& \neg (\Delta U_2 \& \Delta f_2) \vdash r_3. \end{cases} \quad (6)$$

При наличии напряжения в основной или резервной сетях корабельной ЭЭС поддержание высокой оперативной готовности аварийного источника осуществляется организацией непрерывного подзаряда АБ напряжением U_q , повышенным относительно номинального U_n напряжения аккумуляторов. Всегда выполняется условие (7)

$$U_q > U_n > U_k. \quad (7)$$

** Определяемым, например, топологией размещения потребителей, числом помещений, где они размещены и т.п.

*** Здесь и далее \neg – знак инверсии.

Условия проведения подзаряда иллюстрируют выражения

$$\begin{cases} r_1 \vee r_2 \vdash q(t); \\ U \geq U_q \vdash \neg t. \end{cases} \quad (8)$$

Функционирование аварийной сети в режиме питания потребителей при полном обесточивании в ЭЭС связано с проведением разряда ф АБ, что иллюстрирует выражение

Продолжительность разряда может определяться директивно заданным для определенных типов потребителей интервалом времени Δt или полным временем естественного разряда АБ на нагрузку до достижения значений конечного напряжения U_k :

$$\begin{cases} \neg (r_1 \& \neg r_2 \& r_3) \vdash \varphi(\tau); \\ \neg (r_3 \vee (\Delta \tau < \tau_{\text{ном}})) \vdash \neg \tau. \end{cases} \quad (9)$$

Описание модели бесперебойности $\forall C_i \in C$ представлено бинарным графом на рис. 1.

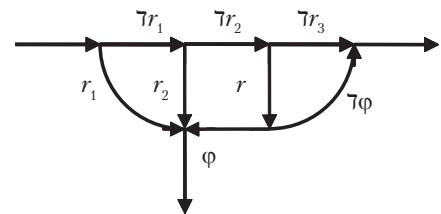


Рис. 1. Алгоритмическая модель бесперебойности

ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

В работе [11] отмечена тенденция интеграции систем электропитания с системами-потребителями, которая в перспективе приведет к изменению границ между этими системами, при этом отмечается, что интеграционные тенденции не приведут к исчезновению СЦП, а напротив, приведут к дальнейшей централизации корабельных систем электропитания.

Дальнейшее совершенствование корабельных систем электропитания связано с проведением работ по интеграции на основе углубленного системного анализа СЦП совместно с этими системами-потребителями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К настоящему времени концепция организации бесперебойного электропитания корабельной нагрузки полностью сформирована. В ее рамках определены основные понятия концепции, установлены системообразующие компоненты, созданы общая компонентная основа и алгоритмическая модель бесперебойности, разработаны, поставлены на корабли и успешно эксплуатируются системы, созданные на основе концепции. Будущее развитие корабельных систем электропитания связано с созданием СЦП,

интегрированных с системами-потребителями. Высокий уровень интеграции должен стать результатом новых исследований, связанных с проведением углубленного системного анализа СЦП совместно с этими системами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Губанов Ю.А.* Централизованное электропитание корабельных систем управления // Электрическое питание: Науч.-техн. журнал. – 2002. – №3. – с. 43–46.
2. *Губанов Ю.А.* Развитие корабельных систем бесперебойного электропитания // Докл. науч.-практ. конфер. «Проблемы автоматизации надводных кораблей». – ОАО «Концерн «НПО «Аврора». СПб., 2009. – с. 84–92.
3. *Губанов Ю.А.* Проблемы силовой электроники в бортовых системах электроснабжения и электроприводах. – Силовая электроника в бортовых системах электроснабжения и электроприводах // ФГУП «ПКП «Ирис». – Новочеркасск, 2004, с. 21–34.
4. *Темирев А.П.* Разработка проблемно-ориентированных компонентов электроэнергетической системы под-
водной лодки и систем управления ими // Автореф. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук / СПбГМТУ, СПб., 2005, 40 с.
5. *Федоров А.Е.* Адаптивный синтез интегрированных агрегатов бесперебойного электропитания электронных систем дизель-электрической подводной лодки // Автореф. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук / КрГТУ, Краснодар, 2006, 20 с.
6. *Губанов Ю.А., Федоров А.Е.* Интегрированный агрегат бесперебойного электропитания электронных систем подводных лодок: техническая структура, метод адаптивного синтеза, аппаратно-программная реализация. – Системы управления и обработки информации: Науч.-техн. сб. / ФНПЦ «НПО «Аврора». – 2006. – Вып. 11. – С. 34–47.
7. *Губанов Ю.А.* Агрегаты бесперебойного питания корабельных систем управления // Электропитание: Науч.-техн. сб. / Ассоц. «Электропитание». – М, 2002. – Вып. 4. – С.29–35.
8. *Gubanov Yu.A.* Power electronics in ship electric power systems: new generation of units of a uninterrupted power supply // Third International Conference “Navy and Shipbuilding Nowadays”. 21st Century challenges for naval shipbuilding industries and navies. NSN`2003 / Proceeding / Krylov Shipbuilding Research Institute. – St.Peterburg. 2003, – P. 126–132.
9. *Губанов Ю.А., Турусов С.Н.* Конструкционная система и унифицированные компоненты для комплексов приборной части агрегатов бесперебойного питания // Силовая электроника в бортовых системах электроснабжения и электроприводах. – Мат-лы Межотрасл. науч.-техн. семинара/ФГУП «ПКП «Ирис». – Ростов-на-Дону. – 2003. – С. 15–16.
10. *Бабкин В.А., Губанов Ю.А., Тумасянц Р.А.* Аварийная поддержка электроснабжения корабельных систем управления // Системы управления и обработки информации: Науч.-техн. сб. / ФНПЦ «НПО «Аврора». СПб., 2006. – Вып. 11. – С. 18–33.
11. *Губанов Ю.А.* Интеграционные процессы в системах централизованного электропитания бортовых электронных комплексов // Электропитание: Науч.-техн. журнал / СПб. – 2010. – №2. – С. 6–7. ■

- Информационно-поисковая - система -

К  **рабел.ру**

Судостроение. Судоходство. Судоремонт.

ЧЕСТНО О СУДОСТРОЕНИИ

Системы генерирования и распределения электроэнергии объектов морского базирования традиционно ориентировались на низковольтное (380–400 В) электротехническое оборудование отечественного производства и в связи со спецификой данных объектов реализовывались по схеме с изолированной нейтралью. По мере развития науки и техники, а также исходя из потребностей совершенствования технологического оборудования, спектр задач объектов морского базирования расширился, а их функции усложнились. Возросли потребности в наукоемких судах – ледоколах, научно-исследовательских судах, гражданских судах для МЧС и других ведомств России. Кроме того, развитие районов Крайнего Севера, Дальнего Востока и других энергонедоступных районов, разработка и комплексное освоение месторождений и добыча углеводородных ресурсов континентального шельфа обуславливали необходимость построения и ввода в эксплуатацию плавучих атомных теплоэлектростанций (ПАТЭС), морских буровых платформ, судов снабжения, стоечных судов и морских терминалов. Тенденция развития мирового, в том числе и российского судостроения, определяет рост энергопотребления системами движения, жизнеобеспечения и технологическими системами, что приводит к необходимости увеличения суммарной мощности источников питания до сотни мегаватт.

Разработка и внедрение пропульсивных и технологических установок судов и плавучих платформ обеспечили применение:

- систем позиционирования плавучих морских платформ, электродвижения и подруливающих устройств специальных судов, осуществляющих добычу углеводородных ресурсов континентального шельфа (от 10 до 100 МВт);
- мощного технологического и специального бурового оборудования (от 1 до 10 МВт).

Рассмотренные технические аспекты существенного роста энергопотребления в условиях ограничений по площади (объему) размещения систем распределения и управления электроэнергией объектов морского базирования и стоимостные затраты на данное оборудование определили необходимость поиска новых решений.

ОАО «Новая ЭРА», являясь одним из основных российских предприятий, разрабатывающих и серийно поставляющих системы распределения и управления электроэнергией класса напряжения от 0,4 до 15 кВ в морском исполнении, прекрасно осознает и правильно понимает проблемы энергетики в судостроении. Подразделения проектировщиков

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ОАО «Новая ЭРА»,
контакт. тел. (812) 740 5053

и разработчиков, имея существенный научно-технический потенциал и многолетний опыт, ведут исследования для поиска новых технологий в решении актуальных задач в сфере энергетики в интересах отечественного судостроения.

ОАО «Новая ЭРА» уже сейчас выпускает продукцию, в которой решен ряд проблем рассматриваемых технических аспектов. Благодаря новым разработкам компания участвует в таких уникальных проектах, как поставка:

- электрораспределительных устройств (ЭРУ) напряжением 10 кВ для строительства приливной электростанции «Кислогубская»;
- ЭРУ напряжением 0,4 кВ для стационарного морского ледостойкого отгрузочного причала «Варандей»;
- ЭРУ напряжением 0,4 и 10 кВ для плавучей атомной теплоэлектростанции малой мощности ПАТЭС ММ;
- ЭРУ напряжением 0,4; 0,6 и 11 кВ для морской ледостойкой платформы «Приразломная»;
- ЭРУ напряжением 0,4 кВ для морской ледостойкой платформы «Корчагинская», а также участие в строительстве буровой платформы «Д-6».

ОАО «Новая ЭРА» участвовала в разработке и поставке электротехнического оборудования по проекту «Сахалин-2» и сертифицирована по рекомендации «Sakhalin Energy» компанией «Shell» по высшей категории «А». Освоение продукции, удовлетворяющей повышенным требованиям по безопасности и надежности, позволило компании стать надежным поставщиком своего оборудования на строящиеся корабли ВМФ РФ. На предприятиях аккредитовано военное представительство МО РФ.

Проведенный анализ возможных технических решений, свой опыт, а также опыт российских и зарубежных компаний показывает, что для снижения затрат на применяемое электрооборудование, в частности электрораспределительные устройства и защитно-управляющую аппаратуру, снижению его массогабаритных показателей, следует повышать уровень применяемого напряжения и придерживаться принципов построения распределительных сетей, используемых на суше.

Применение распределительных устройств на напряжение 380–400 В в настоящий момент практически исчерпало

возможности повышения передаваемой мощности без значительных финансовых затрат. Повышение применяемого напряжения до 600 (690) В, традиционно используемого для бурового оборудования, не дает значительного эффекта в снижении массогабаритных характеристик агрегатов.

Расчеты показывают, что существенный выигрыш по снижению стоимостных и массогабаритных показателей и расширению функциональности систем распределения и управления электроэнергией объектов морского базирования можно получить при использовании напряжения 6–15 кВ (наибольшее напряжение разрешенное Российским Морским Регистром судоходства и другими мировыми классификационными обществами). При этом максимальный эффект возможен в случае комплексного применения новых технологий в построении систем распределения электроэнергии, а именно:

- формирования и применения средневольтного (6–15 кВ) распределительного электрооборудования, как с изолированной, так и с заземленной нейтралью;
- построения модульной структуры ячеек стандартного типоряда электрораспределительных устройств;
- функционально-конструктивно го построения встраиваемой в ячейку релейно-защитной аппаратуры, обеспечивающей все виды электрических защит оборудования, шин и кабелей;
- функционально-конструктивного построения встраиваемых в ячейку пускорегулирующих аппаратов;
- дискретного и цифрового взаимодействия релейно-защитной аппаратуры и пускорегулирующих аппаратов с центральной системой управления и подключаемым оборудованием электропотребителей.

Применение указанных новых технологий позволит:

- повысить коэффициент использования объема систем распределения по показателю энергопередачи на 15–35 %;
- снизить сечение кабельных трасс (с учетом увеличения изоляции) до 28 %;
- обеспечить гибкость за счет модульной структуры ячеек при наращивании (изменении) функциональности электрораспределительных устройств;

– исключить ударные нагрузки в сети за счет применения частотно-регулируемых приводов;

– обеспечить единое автоматизированное управление процессами приема, распределения и потребления электроэнергии.

Однако одним переориентированием на более высокое напряжение систем распределения и управления электроэнергией не обойтись. Возникает необходимость комплексного решения проблемы: общей координации всех участников российского судостроения, формирования законодательных нормативных актов, подкрепляющих концепцию перехода на средневольтное питание (6–15 кВ) в судостроении, разработка и производство потребителей соответствующего электропитания.

В настоящее время средневольтное оборудование имеется и применяется на судах и морских платформах. Это в основном мощное насосное и компрессорное оборудование, пропульсивное оборудование, но доля данного оборудования морского, в том числе специального, назначения и исполнения не столь велика.

Ниже приведены характеристики основных комплектных распределительных



Рис. 1, 2. КРУ напряжением 6–10 кВ морского исполнения, серии К-308 МР-НЭ и К-309 МР-НЭ



Рис. 3, 4. КРУ напряжением 6–10 кВ морского исполнения, серии К-310 МР-НЭ и К-311 МР-НЭ

Технические характеристики КРУ напряжением 6–10 кВ морского исполнения

Таблица 1

Обозначение шкафа КРУ	Характеристики	Присоединение	Исполнение
К-308 МР-НЭ ТУ 3414-007-23100968-05	Напряжение 6, 10 (12) кВ с изолированной нейтралью или заземлением через резистор 150 Ом, ток 630, 1000, 1250 А, термическая стойкость 50 кА	Сборные шины – нижние. Кабельное подключение – верхнее	М 3, IP 32, морские объекты, электротехнические помещения. Двустороннее обслуживание. Ширина – 800 мм, глубина – 1525 мм, высота – 2300 мм (с кабельными вводами 2880 мм).
К-309 МР-НЭ ТУ 3414-008-23100968-05	Напряжение 6, 10 (12) кВ с изолированной нейтралью или заземлением через резистор 150 Ом, ток 2500 А, термическая стойкость 50 кА	Сборные шины – нижние. Кабельное подключение – верхнее	М 3, IP 32, морские объекты, электротехнические помещения. Двустороннее обслуживание. Ширина – 1000 мм, глубина – 1525 мм, высота – 2300 мм (с кабельными вводами 2880 мм).
К-310 МР-НЭ ТУ 3414-009-23100968-05	Напряжение 6 кВ с изолированной нейтралью или заземлением через резистор 150 Ом, ток 1600 А, термическая стойкость 25 кА	Сборные шины – нижние. Кабельное подключение – верхнее	М 3, IP 32, морские объекты, электротехнические помещения. Двустороннее обслуживание. Ширина – 750 мм, глубина – 1900 мм, высота – 2425 мм.
К-311 МР-НЭ (контакторные двухуровневые) ТУ 3414-009-23100968-05	Напряжение 6 кВ с изолированной нейтралью или заземлением через резистор 150 Ом, ток 400(200) А, термическая стойкость 25 кА	Сборных шин две – нижние и верхние. Кабельное подключение – верхнее	М 3, IP 32, морские объекты, электротехнические помещения. Двустороннее обслуживание. Ширина – 1100 мм, глубина – 1900 мм, высота – 2216 мм.
К-313 МР-НЭ ТУ 3414-015-23100968-2007	Напряжение 6, 10 кВ с изолированной нейтралью или заземлением через резистор 150 Ом, ток 1250, 1600 А, термическая стойкость 50 кА	Сборные шины – верхние. Кабельное подключение – нижнее	М 4, IP 32, морские объекты, электротехнические помещения. Одностороннее обслуживание. Ширина – 800 мм, глубина – 1170 мм, высота – 2600 мм.
К-314 МР-НЭ ТУ 3414-016-23100968-2007	Напряжение 6, 10 кВ с изолированной нейтралью или заземлением через резистор 150 Ом, с внутренней вентиляцией, ток 2000, 2500, 3150 А, термическая стойкость 50 кА	Сборные шины – верхние. Кабельное подключение – нижнее	М 4, IP 32, морские объекты, электротехнические помещения. Одностороннее обслуживание. Ширина – 1000 мм, глубина – 1170 мм, высота – 2600 мм.

ных устройств (КРУ) напряжением 6–10 кВ морского исполнения, выпускаемых серийно на нашем предприятии (табл. 1):

- серии К-308 МР-НЭ и К-309 МР-НЭ 6 (10) кВ (рис. 1 и 2);
- серии К-310 МР-НЭ и К-311 МР-НЭ 6 (10) кВ (рис. 3 и 4);
- серии К-313 МР-НЭ и К-314 МР-НЭ 6 (10) кВ.

Надо отметить, что КРУ одностороннего обслуживания становятся все более востребованными на рынке электро-

распределительных устройств, поэтому направление по созданию номенклатуры данных КРУ на предприятии ОАО «Новая ЭРА» получило в последние годы достаточно активное развитие.

Основные преимущества КРУ одностороннего обслуживания производства ОАО «Новая ЭРА»:

- конструкция прислонного типа позволяет экономить место при размещении на корабле;
- обеспечивают высокую безопасность обслуживающего персонала (все

операции по перемещению силовых выключателей внутри ячеек производятся при закрытых дверях ячеек);

- имеют удобный и надежный червячный механизм «вката-выката» силового выключателя;
- оснащены современными быстродействующими (с взводной пружиной) заземляющими разъединителями, обеспечивающими надежную защиту от возникновения открытой дуги при нештатном включении разъединителя (под напряжением). ■

К 60-ЛЕТИЮ В. Н. ПОЛОВИНКИНА

Действительный член Петровской академии наук и искусств, член-корреспондент Академии инженерных наук, заслуженный деятель науки РФ, почетный профессор Военно-морской академии им. Н.Г. Кузнецова, профессор Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, доктор технических наук, профессор Валерий Николаевич Половинкин родился 2 мая 1951 г. в п. Добромине Смоленской области, Глинковского района. Капитан 1 ранга запаса.

В 1968 г. окончил среднюю школу с математическим уклоном № 4 г. Кобрин, Брестской области, Белорусской ССР.

В 1973 г. с отличием окончил полный курс Севастопольского высшего военно-морского инженерного училища по специальности дизель-электрических энергетических установок и получил диплом инженера-электромеханика.

После окончания учебы для дальнейшего прохождения службы был направлен на Краснознаменный Северный флот, где проходил службу до 20 августа 1979 г. За период службы на подводных лодках участвовал в четырех длительных походах продолжительностью по 11–12 месяцев каждый. В составе соединения подводных лодок принимал участие в оказании интернациональной помощи в Арабской Республике Египет, Сирийской Арабской Республике, Алжире. В течение шести месяцев находился в специальной служебной командировке в порту Александрия. Участвовал в организации и проведении ремонтов подводных лодок за границей, в частности в АРЕ, Югославии.

В 1979 г. поступил, а в 1981 г. с отличием окончил кораблестроительный факультет Военно-морской академии по специальности «Инженерная, боевой эксплуатации кораблей».

В мае 1986 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 20.02.14, 20.02.17 на тему: «Принципы организации и особенности протекания рабочего процесса двигателей ограниченного тепловода».

В январе 1992 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени



доктора технических наук по специальностям 20.02.14, 20.02.17 на тему: «Теория и физические методы повышения надежности, живучести и безопасности корабельных дизелей».

За период своей служебной, научной и трудовой деятельности с 1981 по 2005 г. прошел путь от преподавателя до начальника факультета кораблестроения Военно-морской академии им. Н.Г. Кузнецова.

С 2005 г. по настоящее время – референт директора ФГУП ГНЦ «ЦНИИ имени акад. А.Н. Крылова», научный руководитель Лаборатории высоких технологий Военно-морской академии.

В ноябре 1992 г. введен в состав Экспертного совета по проблемам флота и кораблестроению ВАК РФ.

В 2002 г. назначен заместителем председателя Экспертного совета ВАК Минобрнауки РФ по проблемам флота и кораблестроения.

В. Н. Половинкин – основоположник известной научной школы по проблемам обеспечения живучести, надежности и безопасности судовых и корабельных боевых и технических средств на базе высоких наукоемких технологий. Под его непосредственным руководством были подготовлены 35 учеников, в том числе 31 кандидат технических наук, 1 кандидат экономических наук, 2 доктора технических наук и 1 доктор экономических наук. В настоящее время руководит тремя соискателями степени доктора технических наук и четырьмя соиска-

телями ученой степени кандидата технических наук.

С 1981 г. предметом научных исследований являются высокие технологии, в том числе ультрадисперсные системы и нанотехнологии. Многие разработки в области ультрадисперсных структур и высоких технологий реализованы в технологических процессах ряда производств отечественного судостроения и машиностроения. Валерий Николаевич – один из инициаторов создания новой науки – геотрибоэнергетики.

Он – автор свыше 400 научных трудов, в том числе 25 монографий, 25 патентов на изобретения и одного научного открытия № 323 «Свойство высокоэнергетических минеральных веществ изменять параметры триботехнических систем». Среди последних монографий, изданных в 2009 – 2011 гг.: «Нанотехнологии в судостроении», «Наука наноразмерного состояния. Нанотехнологии», «Нанонаука и нанотехнологии: миф или реальность?», «Энергетика специальной морской подводной техники», «Корабельный инженер Н.Н. Кутейников».

В. Н. Половинкин – редактор более 20 книг и монографий, инициатор и организатор 40 научных конференций, в том числе 25 международных. Награжден многими золотыми медалями и дипломами как активный участник различных международных выставок. Например, в 2011 г. на последнем XIV Московском международном салоне изобретений и инновационных технологий решением Международного жюри вместе с соавторами награжден тремя золотыми и тремя серебряными медалями.

В мае 2002 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки РФ» и вручен знак «Почетный работник высшего профессионального образования РФ».

Награжден многими государственными и правительственными наградами СССР, РФ и ряда развивающихся стран, в том числе орденом «За военные заслуги», и 30 медалями.

Имеет более 10 наград различных общественных и научных организаций.

Коллеги по работе и деятельности в общественных и научных организациях поздравляют Валерия Николаевича с юбилеем и желают ему здоровья, удачи и дальнейших творческих успехов в решении проблем флота и кораблестроения!

Редакция журнала «Морской вестник» присоединяется к этим поздравлениям и надеется на продолжение нашего плодотворного сотрудничества

АСИНХРОННАЯ МАШИНА С КОНДЕНСАТОРАМИ В ЦЕПИ ФАЗНОГО РОТОРА

Б.Б. Бабенко, аспирант,

В.М. Приходько, канд. техн. наук, проф., СПбГУВК,
контакт. тел. (812) 334 3835

В электроприводах различного назначения с тяжелыми условиями пуска целесообразно использовать асинхронную электрическую машину с фазным ротором. В цепь фазного ротора вводят активные сопротивления, при этом возрастают критическое скольжение S_k и пусковой момент. При $S_k = 1,0$ пусковой момент равен максимальному моменту двигателя. Если механическая характеристика рабочего органа хорошо согласуется с механической характеристикой электродвигателя, т.е. пусковой момент рабочего органа не превышает его максимальный момент, а в установившемся режиме момент сопротивления рабочего органа близок к его номинальному моменту, то наиболее приемлемым является использование активных сопротивлений в цепи фазного ротора.

Однако в тех случаях, когда механическая характеристика рабочего органа носит нелинейно-спадающий характер (рис. 1), необходимо использовать двигатель большей мощности (рис. 2, 3) с тем, чтобы он обеспечивал пуск. Естественно, такой электродвигатель в установившемся режиме недоиспользуется по мощности, что ухудшает энергетические показатели электропривода.

Таким образом, оптимальным был бы вариант, когда в установившемся режиме статический момент сопротивления равен номинальному моменту, а пусковой момент, развиваемый двигателем, больше номинального пускового момента.

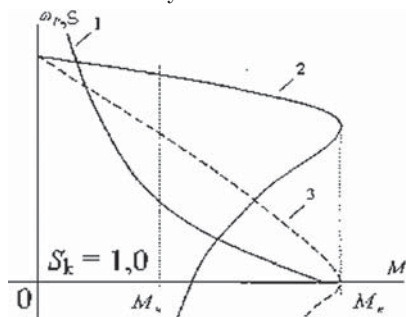


Рис. 1. Механические характеристики двигателя

Для анализа электромагнитных процессов при предлагаемом способе используется Г-образная схема замещения. Если пренебречь мнимой частью коэффициента приведения Т-образной схемы замещения к Г-образной, то в этом случае можно воспользоваться схемой, которая представлена на рис. 2.

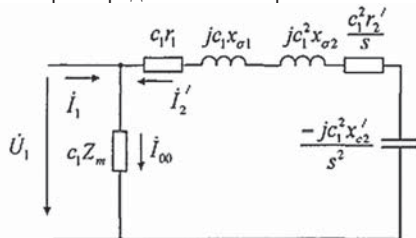


Рис. 2. Г-образная схема замещения

В соответствии с ней механическая характеристика асинхронной машины

при наличии конденсаторов в цепи фазного ротора описывается следующим выражением:

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r_2'}{\omega_1 \left[\left(r_1 + \frac{c_1 r_2'}{s} \right) + \left(x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2} - \frac{c_1 x'_{c2}}{s^2} \right) \right]},$$

где m_1 – число фаз обмотки статора; U_1 – напряжение сети; ω_1 – механическая угловая частота вращения магнитного поля статора; s – скольжение; r_1 – активное сопротивление статора; r_2' – приведенное активное сопротивление ротора; $x_{\sigma 1}$ и $x_{\sigma 2}$ – индуктивные сопротивления рассеяния статора и ротора; c_1 – коэффициент приведения Т-образной схемы замещения к Г-образной; x'_{c2} – приведенное реактивное сопротивление конденсаторов в цепи фазного ротора при частоте, равной частоте электрической сети.

Определим экстремальные точки выражения. Для этого возьмем частные производные по s и по x'_{c2} , приравняем их к нулю и в результате получим следующие выражения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial s} &= - \left[r_1^2 + (x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2})^2 \right] \cdot s^4 + \\ &+ \left[c_1^2 r_2'^2 - 2(x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2}) c_1 x_{\sigma 2} \right] \cdot s^2 + \\ &+ 3(c_1 x'_{c2}) = 0. \end{aligned}$$

Определим критическое скольжение, при котором максимальный момент двигателя достигает своего наибольшего значения:

$$S_{k \max} = \pm \frac{c_1 r_2'}{r_1}.$$

Знак «плюс» относится к двигательному режиму, а знак «минус» – к генераторному. Найдем значение реактивного сопротивления конденсаторов в цепи ротора, при котором асинхронная машина развивает наибольший максимальный момент:

$$\begin{aligned} x'_{c2 \max} &= \frac{(x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2}) \left(\frac{c_1 r_2'}{r_1} \right)^2}{c_1} = \\ &= c_1 (x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2}) \left(\frac{r_2'}{r_1} \right)^2. \end{aligned}$$

При этом для двигательного режима при $S_{k \max} > 0$ имеем

$$M_{k \max} = \frac{m_1 U_1^2}{4 \omega_1 c_1 r_1}.$$

Из данного выражения видно, что наибольший максимальный момент асинхронного двигателя при наличие конденсаторов в цепи ротора больше

номинального максимального момента, который двигатель развивает без конденсаторов, на следующую величину:

$$\frac{M_{k \max}}{M_k} = \frac{1 + \sqrt{1 + [(x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2}) / r_1]^2}}{2}.$$

Причем наибольший пусковой момент машина в соответствии с выражением будет развивать при

$$x_{c2 \text{ пуск}} = \frac{(x_{\sigma 1} + c_1 x_{\sigma 2})}{c_1},$$

при этом наибольший пусковой момент:

$$M_{\text{пуск}} = \frac{m_1 U_1^2 r_2'}{\omega_1 (r_1 + c_1 r_2')^2}.$$

Следует отметить, что пусковой момент двигателя достигает своего наибольшего значения, когда критическое скольжение $s_k = 1,0$.

Как известно, при проектировании асинхронных машин переменного тока стремятся к тому, чтобы активное сопротивление статора было равно приведенному активному сопротивлению ротора: $r_1 = r_2'$. С ростом мощности электрической машины емкости конденсаторов изменяются немонотонно, поскольку они зависят от величины ЭДС обмотки ротора. Если использовать конденсаторы серии К78-17 с единичной емкостью 60 мкФ, переменным напряжением 330 В и массой 0,2 кг, то масса батареи конденсаторов составит около 10% массы асинхронного двигателя. Конденсаторы в цепи ротора соединяются по схеме «треугольник». Следует подчеркнуть, что масса конденсаторов может быть уменьшена за счет оптимизации ЭДС фазного ротора и выбора типа конденсаторов. После пуска, в отличие от пуско-регулирующих резисторов, конденсаторы могут быть использованы для компенсации реактивной мощности электрической сети, а также для торможения электродвигателя с самовозбуждением (конденсаторное торможение).

В этом случае процесс оптимизации статического компенсатора состоит в оценке величин трех элементов, обеспечивающих минимум целевой функции (критерия качества) в форме суммы квадратов линейных токов трехфазной системы.

Компенсаторы реактивной мощности представляют собой параметрические оптимизаторы, содержат реактивные элементы, величины которых следует выбирать в зависимости от конкретного стационарного режима для уменьшения реактивных токов в сети. Наличие повышенных значений токов электрической сети, вызванных реактивным характером нагрузки, приводит к увеличению плотности тока и, как следствие, к повышению вероятности возникновения

локальных источников нагрева (пожара) в местах контактных соединений и повреждений сети, а также снижению электропожаробезопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булатов О.Г. Тиристорно-конденсаторные источники питания для электротехнологии: научное издание / О.Г. Булатов, А.И. Царенко, В.Д. Поляков. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 197 с.
2. Кацман М.М. Электрические машины: Учеб. – 3-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2000. – 463 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2001. – 328 с.
4. Электромеханические устройства и системы: Сб. науч. тр. Брянск. гос. техн. ун-та / Ред. Л.А. Потапов. – Брянск: изд-во БГТУ, 2003. – 91 с. ■

ПРОБЛЕМА

В процессе эксплуатации различного оборудования, имеющего системы охлаждения/нагрева, на поверхностях теплообмена образуются отложения солей, выпадающих из пересыщенных растворов, продуктов коррозии, различных технологических загрязнителей. Согласно имеющимся данным, в высокоразвитых странах ущерб от образования отложений различного состава составляет 0,25% ВВП [1,2].

Судовые дизельные установки, газомотокомпрессоры, поршневые компрессоры. В дизельных установках, используемых на судах речного флота, и земснарядах в качестве приводов грунтовых насосов, на судах в качестве двигателей и на дизель-генераторных установках используется рубашечная система охлаждения втулок силовых цилиндров и турбокомпрессора. На ряде компрессорных станций в качестве газоперекачивающего агрегата используют газомотокомпрессоры, конструктивно аналогичные судовым дизелям (рис. 1). Различие систем охлаждения судовых дизелей от систем охлаждения газоперекачивающих агрегатов (ГПА) заключается в том, что в поршневых ГПА применена одноконтурная схема охлаждения втулок и блока силовых цилиндров, турбокомпрессора воздуха наддува силовых цилиндров и охладителя масла, теплота от воды (или другого агента) отдается в атмосферу с помощью аппаратов воздушного охлаждения, а в судовых дизелях используется двухконтурная система охлаждения. Цилиндровые втулки, блок цилиндров

и турбокомпрессор воздуха наддува силовых цилиндров охлаждаются циркулирующей пресной водой внутреннего контура (зачастую умягченной с добавлением ингибиторов солеотложения и коррозии), а наддувочный воздух, масло и вода внутреннего контура охлаждаются в охладителях воздуха, воды и масла заборной проточной водой внешнего контура (в большинстве случаев – в кожухотрубных охладителях).

При наличии солевых и коррозионных отложений в системах охлаждения поршневых газоперекачивающих агрегатов и судовых дизелей образуются очаги теплонпряженности в деталях цилиндропоршневой группы, особенно во втулках силовых цилиндров в районах перемычек между выхлопными окнами. В результате в процессе работы втулка силового цилиндра деформируется, образуется трещина, происходит разрушение собственно втулки, головки поршня, комплекта маслосъемных и компрессионных колец, вкладышей подшипников силового шатуна, прорыв выхлопных газов в картер газомотокомпрессора и крышек силовых цилиндров в результате нарушения теплообмена.

В судовых дизельных установках в процессе работы с отложениями в полостях охлаждения крышек цилиндров, холодильников или трубопроводов наблюдается повышенная температура воды у одного или нескольких цилиндров по сравнению с остальными (при условии равномерного распределения нагрузки по цилиндрам), а также воды внутреннего контура, повышенный перепад температур воды до/после холодильника, повышенная температура и темный цвет выхлопных газов у дизелей с охлаждением наддувочного воздуха. При работе дизеля с такой неисправностью возможно заедание поршней и подплавление подшипников, разрушение колец и т.д. Инструкцией по эксплуатации газомотокомпрессора ГМК МК-8М предусматривается обязательная очистка систем охлаждения в том случае, если толщина отложений превышает 1 мм. Однако нередко случаи эксплуатации агрегатов с отложениями до 20 мм, в том числе с полным перекрытием проходного сечения.

Стоимость замены втулки силового цилиндра, головки поршня с комплектом маслосъемных и компрессионных колец, комплекта вкладышей подшипников зависит от типоразмера судового дизеля или газоперекачивающего агрегата, для ГПА типа ГМК 8М превышает 1,5 млн. руб. (в ценах 2008 г). Значительно снизить затраты и повысить надежность эксплуатации можно путем своевременной качественной очистки внутренних поверхностей систем охлаждения судовых дизелей и поршневых газомотокомпрессоров от солевых и коррозионных отложений.

ОЧИСТКА СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК И ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

М.В. Омелянюк, канд. техн. наук, доцент, докторант КубГТУ, г. Армавир, контакт. тел. (86137) 72203



Рис. 1. Поршневой газомотокомпрессор ГМК 8М

Аппараты воздушного охлаждения.

При эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения (АВО) различных агентов происходит загрязнение трубного и межтрубного пространства, особенно в аппаратах с высоким коэффициентом оребрения ($\phi = 20-23$). В результате загрязнения снижается коэффициент теплопередачи (в 1,5–2 раза по сравнению с проектными данными [3]), снижается эффективность теплопередачи. Из-за снижения теплоотдачи, повышения температуры агентов и неравномерности охлаждения в пределах одной секции АВО также может происходить деформация труб охладителя, что приводит к дополнительной неравномерности охлаждения из-за перераспределения зазоров между оребренными трубами секции. Методами, представленными в работах [4, 5], не учитываются в полной мере влияние неравномерности теплоотдачи по поверхности теплового съема АВО, динамика изменения параметров АВО во времени (коробление, провисание труб, загрязнение межтрубного пространства) [3].

В работе [6] на основе обработки экспериментальных данных предложена критериальная зависимость для расчета внешней теплоотдачи современных промышленных АВО с поперечными ребрами прямоугольного профиля, учитывающая степень загрязнения межтрубного пространства.

В работе [7] указывается на опасность взрыва в трубной обвязке АВО сжатого воздуха из-за скопления вытесненного смазочного масла и высокой температуры на выкиде, снижения эффективности водяного рубашечного охлаждения из-за отложения солей.

Для обеспечения нормального режима работы загрязненных АВО различных агентов требуется периодически проводить очистку трубного и межтрубного пространства.

Теплообменники. При эксплуатации водоводяного, водомасляного или иного теплообменника с покрытыми отложениями внутренними или наружными поверхностями трубок данный теплообменник не обеспечивает номинальной теплопередачи, в результате повышается температура агента на выходе из охладителя.

Наличие осадков ускоряет процесс коррозии оборудования с образованием сквозных свищей. В целом наличие отложений на поверхностях теплообменного оборудования приводит к нарушению нормальной циркуляции агента в системе охлаждения, понижает эффективность, надежность и безопасность его эксплуатации. На рис. 2 представлены загрязнения трубного пространства кожухотрубного теплообменника.

Стоимость замены трубного пучка теплообменника с количеством трубок 694–1100 шт., длиной более 6 м, мате-



Рис. 2. Загрязнения трубного пространства кожухотрубного теплообменника

риалом трубок – хромоникелевой сталью, превышает по состоянию на 2009 г. 1 млн. руб. Значительно снизить затраты на ремонт и повысить надежность и безопасность эксплуатации можно путем своевременной качественной очистки внутренних и наружных поверхностей систем теплообмена от солевых, коррозионных и прочих технологических отложений.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Проблему очистки систем охлаждения судовых дизелей и газоперекачивающих агрегатов от различных по составу отложений решают химическим, механическим, электрогидроимпульсным, гидродинамическим и другими методами, каждый из которых имеет свои достоинства, недостатки и ограничения. Применяют комплексные методы очистки, включающие в себя электрогидроимпульсный метод, разработанный авторами [8], недостатками которого являются низкая степень очистки, негативное воздействие на очищаемое оборудование (за счет гидравлических ударов), механические методы (использование сверл, ершей и шарошек) и гидродинамические методы. За рубежом широко применяется для удаления отложений гидродинамический метод (с использованием высоконапорных струй жидкости) [1, 9–11]. Струйные технологии находят применение и в ряде других областей промышленности [12–14].

Существующую проблему очистки межтрубного пространства АВО в боль-

шинстве случаев проводят промывкой с помощью пожарных брандспойтов. Используются также пропаривание, метод пескоструйной очистки и химической метод (путем демонтажа секций АВО и их погружения в моющий раствор) для очистки трубного и межтрубного пространства.

При очистке высоконапорными струями жидкости обеспечивается более гладкая, чем после мехобработки (сверления, дробеструйной обработки и т.д.), поверхность. Последующее образование отложений на такой поверхности происходит медленнее, следовательно, слой осадка той же толщины образуется за более длительное время, чем после очистки механическими методами. На шероховатой поверхности образуется большее количество частиц твердой фазы, чем на гладкой. Это объясняется повышенной каталитической активностью выступов и углублений, а также тем, что неудаленные солевые частицы являются устойчивыми зародышами (центрами кристаллизации), следовательно, индукционный период кристаллизации будет незначительным. Кроме того, часть мелких частиц может срываться потоком жидкости с гладкой поверхности. Поэтому технология процесса очистки рубашек охлаждения, применяемые инструмент и оснастка имеют значение не только непосредственно для процесса очистки, но и обуславливают длительность дальнейшей безаварийной эксплуатации оборудования.

ПРОВЕДЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Значительное число экспериментальных работ посвящено выявлению влияния на гидродинамическое совершенство струй, коэффициент расхода, степень развития кавитации конструктивных особенностей насадков и гидродинамических генераторов кавитации [9, 11–17]. Исследованы гидродинамические качества струй, в том числе многофазных, истека-

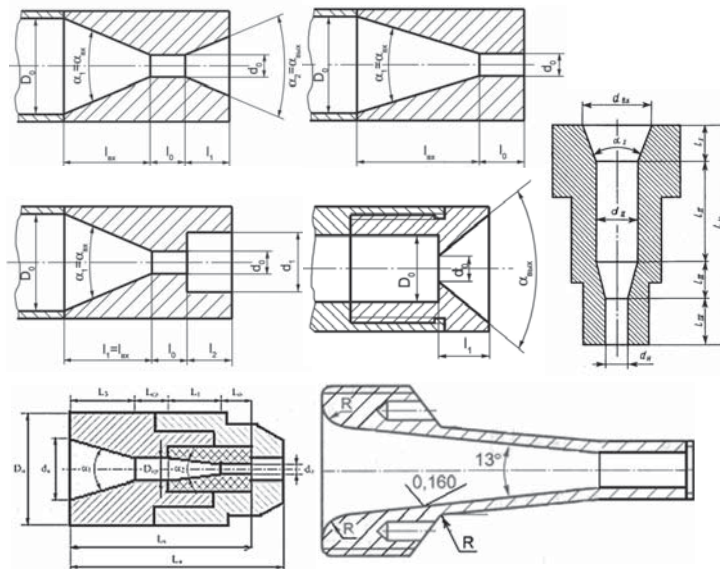


Рис. 3. Конструктивные схемы исследованных насадков

ющих из насадок со сложным внутренним профилем (состоящие из более чем четырех участков) [15, 16] (рис. 3).

Исследования эффективности струйных генераторов кавитации и гидродинамических насадок различных типов [13–21], выявление их достоинств и недостатков, комбинация различных элементов и исследования в широком диапазоне параметров (длин участков, углов раскрытия конусов, радиусов закруглений, количества участков, расходно-напорных характеристик) позволило разработать конструкции статических и ротационных генераторов гидродинамической кавитации, увеличивающих эрозионную способность струй. Достоинствами генераторов являются хорошая технологичность и низкая стоимость изготовления. Генераторы кавитации и прочие устройства доказали свою эффективность при интенсификации работы скважин [22, 23] и очистке гидротехнических сооружений и плавсредств [24]. Незагрязненные гидродинамические струи эффективны при очистке насосно-компрессорных труб от различных отложений [25–27].

Для решения задачи очистки трубоного и межтрубного пространства охладителей различных агентов оборудования Краснодарского УПХГ ООО «Газпром ПХГ» в 2006–2009 гг. были проведены экспериментальные и опытно-промышленные исследования технологии гидродинамической высоконапорной очистки межтрубного пространства АВО газа, АВО воды и АВО ДЭГа, трубоного и межтрубного пространства кожухотрубных теплообменников установок регенерации гликоля, систем рубашечного охлаждения газомоторных компрессоров. В результате была разработана, спроектирована и изготовлена экспериментальная установка гидродинамической очистки. Установка разрабатывалась универсальной, предназначенной для очистки практически всех типов теплообменных аппаратов, эксплуатирующихся на судовых установках и станциях подземного хранения газа, от различных по химическому составу, прочности и адгезии к поверхности оборудования отложений. При исследовании получены оптимальные технологические параметры струйного воздействия и технических средств, предназначенных для реализации технологии гидродинамической очистки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ

Судовые дизельные установки, газомоторные компрессоры, поршневые компрессоры. Опытные промышленные исследования эффективности разработанных технологий и технических средств очистки систем рубашечного охлаждения газомоторных компрессоров и судовых дизелей были проведены в 2005–2009 гг. на Краснодарском УПХГ [28].

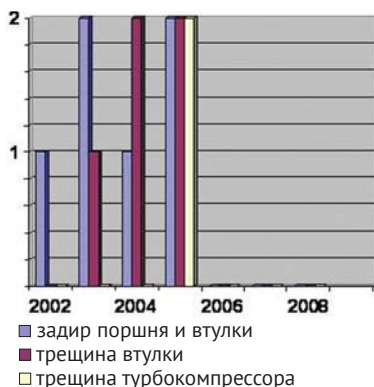


Рис. 4. Динамика количества поломок ГМК МК-8М в результате перегрева: 1-й ряд – задир поршня и втулки силового цилиндра в районе выхлопных окон; 2-й ряд – трещина в перемычке выхлопного окна втулки силового цилиндра; 3-й ряд – поломка турбокомпрессора ТК-48с

До очистки при работе девяти агрегатов ежегодно происходило две–четыре поломки втулок силовых цилиндров (а также головки поршня, комплекта маслоъемных и компрессионных колец, вкладышей подшипников силового шатуна) и восемь–девять поломок крышек силовых цилиндров в результате перегрева (за период закачки). С увеличением толщины отложений увеличивалось количество поломок; динамика количества поломок ГМК МК-8М в результате перегрева за 2002–2009 гг. представлена на рис. 4.

Дополнительно получен экономический эффект из-за снижения электропотребления на 350 тыс. кВт/ч. насосами, обеспечивающими циркуляцию воды в системе охлаждения в результате снижения гидравлических сопротивлений и нормализации режима работы. Данной установкой также были очищены рубашки охлаждения поршневых трехступенчатых воздушных и кислородных компрессоров.

Аппараты воздушного охлаждения. Разработанный и изготовленный опытный образец установки очистки теплообменного оборудования был промышленно апробирован в 2007–2009 гг. при очистке межтрубного пространства АВО (аппараты воздушного охлаждения) газа Краснодарского УПХГ [29].

Опытно-промышленные исследования оптимальных параметров высоконапорных струй жидкости для очистки оребрения проводили на АВГ-160 (4 шт.), АВГ-100 (3 шт.), АВГ-100 С (2 шт.). Исследовались технология гидродинамической очистки незагрязненной струей без использования эффектов кавитации и стандартные гидродинамические конические сопла (из двух участков). В задачу входило определение оптимальных технологических параметров струйного воздействия и технических средств, предназначенных для реализации технологии гидродинамической очистки. Вследствие высокого коэффициента оребрения труб и значительного количества рядов в АВО очистка струями с недостаточным дав-

лением (отмыв с помощью пожарных брандспойтов) не позволяет полностью удалить загрязнители, в первую очередь органическую составляющую. Повышение же скорости струйного потока выше критического значения может приводить к деформированию оребрения, а в случае возникновения резонансных колебаний труб при очистке – к их деформации и нарушению герметичности. Установлено, что использование в струйном потоке абразивов или химических реагентов повышает себестоимость работ по очистке, является технически и экономически неэффективным. (рис. 5).



Рис. 5. Крышка АВО ДЭГа до и после очистки ($\delta = 3–5$ мм) (коррозионные, солевые и органические отложения).

Экспериментально определено оптимальное сочетание напорных и расходных характеристик, которое обеспечивает качественную гидродинамическую очистку оребрения всех рядов труб АВО без нарушения их целостности и повреждения оребрения. Использовалась водопроводная вода без добавок химреагентов. Для эффективного удаления загрязнителей потребовалось проведение очистки в два этапа.

При определении периодичности очистки необходимо учитывать тот факт, что загрязнение АВО газа происходит с разной интенсивностью, в зависимости от степени загрязнения и запыленности окружающей среды, где эксплуатируется агрегат; конструктивных и эксплуатационных особенностей АВО (диаметра осевого компрессора, углов атаки на лопатках осевого компрессора, частоты его вращения).

Кожухотрубные теплообменники. Опытные промышленные исследования эффективности разработанных технологий и технических средств были проведены в 2008–2009 гг. в Краснодарском УПХГ ООО «Газпром ПХГ», в 2009 г. в Кушевском УПХГ ООО «Газпром ПХГ» при очистке трубоного и межтрубного

пространства кожухотрубных проточных и V-образных теплообменников диэтиленгликоля, межтрубного пространства термосифона, трубного и межтрубного пространства АВО ДЭГа [30]. До очистки 10–20% трубок были полностью заполнены отложениями и не обеспечивали циркуляции ДЭГа; толщина отложений в остальных трубках и в межтрубном пространстве составляла 2–4 мм.

Для очистки поверхностей нагрева элементов блоков регенерации гликоля был разработан ряд устройств, реализующих технологии гидродинамической и гидродинамической кавитационной очистки от различных комплексных отложений, в том числе генераторы кавитации (гидродинамические кавитаторы) и гидродинамические насадки (статические и ротационные), в экспериментальных натуральных условиях определены их оптимальные конструктивные параметры.

Технология гидродинамической очистки труб была применена также для очистки трубного пространства охладителей масла (длина – 6 м, количество трубок – 344, площадь – 92 м²) газомотокомпрессоров, трубного и межтрубного пространства теплообменников ДЭГа блоков регенерации гликоля (4 типоразмера, от 98 до 1100 трубок, длина – от 3 до 6 м, площадь теплообмена – до 350 м²), что обеспечило снижение трудоемкости операций по очистке трубного пространства от отложений и безаварийную номинальную работу охладителей в период закачки (рис. 6).



Рис. 6. Очищенный теплообменник

ВЫВОДЫ

Установлено, что для очистки сложных профильных внутренних поверхностей применение высоконапорных струй жидкости является менее затратным и более эффективным по сравнению с другими методами очистки. Временные затраты составили 20–30 % сметной трудоемкости данных работ для различных типоразмеров теплообменных аппаратов в зависимости от степени загрязнения, прочности отложений и их адгезии к металлу. Степень очистки – выше, чем при тех же временных затратах при использовании электрогидроимпульсного, механического и химического методов. Разработанные технологии и оборудование позволили очищать поверхности

любых конфигураций (плоские, цилиндрические, профильные) от отложений с различными прочностными характеристиками и составом, с любой толщиной, даже в случае полного «зарастания» осадками циркуляционных отверстий, что выгодно отличает их от химического метода, при котором необходимо предварительно механически высверливать отложения, заполняющие 100% сечения циркуляционных отверстий.

Технологии и технические средства гидродинамической высоконапорной очистки поверхностей являются универсальными и могут использоваться в разнообразном оборудовании для удаления отложений различного состава, прочности, адгезии к материалу оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Била В.Дж.* Эффективные технологии, основанные на использовании высоконапорных струй жидкости // Нефтегазовые технологии. – 1994. – № 6. – С. 16–20. (Перев. «World Oil»).
2. *Вильгельмсон Б.* Применение спиральных теплообменников в «грязных» средах // Нефтегазовые технологии. – 2005. – № 11. – С. 74–75.
3. *Габдрахманов А., Гаррис Н.* Влияние эксплуатационного загрязнения на тепловые характеристики аппаратов воздушного охлаждения газа // Электр. науч. журнал «Нефтегазовое дело». – 2003. – http://www.ogbus.ru/authors/Garris_2.pdf
4. *Марголин Г.А., Вайсман В.Е.* Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения. – М.; ВНИИНефтемаш, 1982. – 45 с.
5. Методические рекомендации для расчетов систем охлаждения газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов. – М.; ВНИИГаз. – 1976. – 27 с.
6. *Камалетдинов И.М.* Энергосбережение при эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на магистральных газопроводах: Автореферат дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук, Уфа – 2002.
7. *Гутта П., Дорая А., Рай С.* Результаты внутрипластового горения // Нефтегазовые технологии. – 2008. – № 3. – С. 12–15. (Перев. «World Oil»).
8. *Баттаханов А.М., Иванов Е.Н.* Электрогидроимпульсная технология очистки труб от накипи и отложений // Газовая промышленность. – 1997. – № 1. – С. 4–42.
9. *Эванс А., Рафф А., Видерхорн С. и др.* Эрозия: Пер. с англ./Под ред. К.Прис. – М.; Мир, 1982. – 464 с.
10. *Роуланд Ст., Хамрик Р., Геро Г.* Разработка метода высоконапорной очистки скважины с использованием гибких труб // Нефтегазовые технологии. – 2003. – № 5. – С. 35–37. (Перев. «World Oil», 2003, №1, с. 32).
11. *M. Crabtree, D. Eslinger, Ph. Fletcher, A. Johnson, G. King.* Fighting scale – removal and prevention. <http://www.slb.com/media/services/resources/oilfieldreview/ors99/aut99/aut99/fighting.pdf>
12. *Гидроабразивное резание горных пород / Бреннер В.А., Жабин А.Б., Пушкарев А.Е. и др.* – М.: Изд. Моск. гос. горного ун-та, 2003. – 279 с.
13. *Козодой А.В., Зубарев А.В., Федоров В.С.* Промывка скважин при бурении. – М.; Гостехиздат, 1963. – 240 с.

14. *Бройд И.И.* Струйная геотехнология: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 448 с.
15. *Кириллин В.И., Жидовцев Н.А., Крестьянская Н.Ю.* Гидродинамическое совершенство насадок со сложным внутренним профилем // Нефтяное хозяйство. – 1994. – № 5. – С. 33–36.
16. *Назаров Г.С.* Экспериментальное исследование кавитационных характеристик сужающихся насадок // Инж.-физ. журн. – 1968. – Т. XIV. – № 3. – С. 423–429.
17. *Войцеховский Б.В.* Исследования истечения воды под давлением 2000 ат. из насадок различного профиля // Динамика сплошной среды. – 1971. – Вып. IX. – С. 45–50.
18. *Ибрагимов Л.Х., Мищенко И.Т., Челюнец Д.К.* Интенсификация добычи нефти. – М.: Наука, 2000. – 414 с.
19. *Запорожец Е.П., Зиберт Г.К., Запорожец Е.Е.* Гидродинамическая кавитация (свойства, расчеты, применение): Обзор информ. Сер.: Подготовка и переработка газа и газового конденсата. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2003. – 130 с.
20. *Родионов В.П.* Моделирование кавитационно-эрозионных процессов, возбуждаемых гидродинамическими струйными излучателями: Дисс. на соиск. уч. степени д-ра техн. наук. – С-Пб., 2001.
21. *Холпанов Л.П.* Математическое моделирование нелинейных термогидродинамических процессов в многокомпонентных струйных течениях / Л.П. Холпанов, Е.П. Запорожец, Г.К. Зиберт, Ю.А. Кащицкий. – М.: Наука, 1998. – 320 с.
22. *Омельянюк М.В.* Повышение эффективности кавитационной реанимации скважин // Нефтепромысловое дело. – 2008. – № 5. – С. 35–41.
23. *Омельянюк М.В.* Интенсификация работы и реанимация водозаборных скважин // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 5.
24. *Он же.* Очистка гидротехнических сооружений и плавсредств от обрастаний и наслоений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2009. – № 2. – С. 45–48.
25. *Он же.* Очистка нефтепромыслового оборудования от отложений солей с природными радионуклидами // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 2. – С. 23–29.
26. *Он же.* Повышение эффективности очистки насосно-компрессорных труб от отложений солей с естественными радионуклидами // Нефтепромысловое дело. – 2009. – № 6. – С. 34–37.
27. *Он же.* Кавитационная стойкость насадков гидродинамических установок // Нефтепромысловое дело. – 2009. – № 5. – С. 51–54.
28. *Он же.* Результаты опытно-промышленных работ по высоконапорной очистке систем охлаждения газоперекачивающих агрегатов в ООО «Кубаньгазпром» / М.В. Омельянюк, Г.Т. Варгумян, А.Н. Черномашенко, Е.М. Костенко // Нефтепромысловое дело. – 2008. – № 6. – С. 62–65.
29. *Омельянюк М.В., Черномашенко А.Н.* Повышение экономичности и безопасности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения // Нефтепромысловое дело. – 2009. – № 4. – С. 43–46.
30. *Омельянюк М.В., Черномашенко А.Н., Руденко В.М.* Повышение эффективности эксплуатации блоков регенерации гликоля Краснодарского и Кушевского УПХГ // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 6. ■

В условиях дефицита топливно-энергетических ресурсов оптимальное использование вторичных энергоресурсов в теплоутилизирующем контуре (ТУК) является одним из основных способов повышения технико-экономических показателей перспективных судовых энергетических комплексов. Применяемые котлы – утилизаторы (КУ) – можно разделить на одноуровневые и двухуровневые. На судах большее распространение получили одноуровневые котлы как более простые и надежные. Определение характеристик морских комбинированных энергетических установок (КГПТУ), разработанных на базе газотурбинных двигателей (ГТД) двухвальной и трехвальной схемы со

свободной силовой турбиной третьего – пятого поколений, на переменном режиме является актуальной задачей, поскольку большую часть времени энергетические установки кораблей эксплуатируются в режимах частичных нагрузок.

В работе дано краткое описание компьютерной программы расчета ГТД и КГПТУ на переменном режиме, разработанной для расчета ГТД и КГПТУ при использовании в составе пропульсивного комплекса и для привода генератора. В алгоритме расчета переменного режима ГТД и КГПТУ используются уравнения: сохранения расхода и энергии, сохранения момента количества движения, процесса в компрессоре и газовой турбине, баланса работы турбокомпрессора, теплового баланса в регенераторе, промежуточном охладителе воздуха, конденсаторе, деаэраторе, экономайзере и испарительноперегревательной части КУ [1–4, 11] учитывается зависимость удельной теплоемкости газа и воздуха от температуры. Параметры ГТД на номинальном режиме, используемые в качестве исходных данных для расчета ГТД двухвальной и трехвальной схемы со свободной силовой турбиной на переменном режиме, взяты из сайтов производителей двигателей: General Electric–GE (LM 2500, LM+2500, LM2500+G4, LM1600) [5, 6], «Сатурн» (M70ФРУ) [8], Rolls-Royce–RR(MT30, Spey SM1C) [5][7], American Technologies – Pratt&Whitney, PW (MFT8) [5, 9], «Zorya»–Mashproect – ZM(UGT15000, UGT25000) [10]. Тестирование программы имело определенные сложности из-за отсутствия в литературе статических характеристик комбинированной установки. Некоторые характеристики КГПТУ на переменном режиме приведены в [4], весьма ограниченная информация есть в [11, 12]. Результаты сравнения свидетельствуют об удовлетворительном соответствии результатов.

Выбор схемы ТУК базировался на опыте создания морских комбинированных установок такими производителями, как GE, ZM, PW. Использовались схемы ТУК с одноуровневым по давлению КУ и сравнительно низким давлением пара до 5 МПа для того, чтобы получить однокорпусную паровую турбину. При низкой температуре газа на выходе из газтурбины, характерной для морских ГТД 2-го поколения, естественно было использовать низкие параметры пара за котлом-утилизатором (давление – 1–2 МПа), при которых схема ТУК может быть открытой, с ПТ и теплым ящиком. При увеличении температуры газа за газовой турбиной до значений, характерных для морских ГТД 3–4-го поколений, можно использовать две конфигурации ТУК с одноуровневым по давлению КУ. Можно сохранить открытую систему с низким давлением пара за КУ и теплым ящиком. В этом случае процесс расширения пара происходит в зоне перегретого пара (с высоким КПД ПТ), но со сниженной работой. Второй вариант ТУК предусматривает увеличение давления пара за КУ до 4 – 5 МПа, что приведет к увеличению КПД

ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДОВЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ГАЗОПАРОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК НА ПЕРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ

*Б.А. Тихомиров, д-р техн. наук, проф.,
Зо Вун Тхайк, аспирант, СПбГМТУ,
b_tikhomirov@mail.ru, shwegaung@gmail.com*

паротурбинного цикла. Но это усложнит схему ТУК, так как она должна быть с деаэратором и отбором части пара от ПТ для деаэрации питательной воды. При этом мощность ПТ снижается за счет отбора пара, ПТ будет очень сложный, процесс расширения будет частично в области влажного пара со сниженным значением КПД ПТ.

В проект ZM для комбинированной установки включены ГТД 2-го поколения с низкой температурой газа на входе в КУ. Поэтому использовалась простейшая открытая схема ТУК с давлением пара порядка 1 МПа с ПТ и теплым ящиком. В дальнейшем эта схема использовалась ZM в комбинированных установках для энергетики на базе ГТД 3–4-го поколений с более высокой температурой газа на входе в КУ. В GE и PW разрабатывались морские комбинированные установки на базе ГТД с более высокой температурой газа на входе в КУ и с более высоким давлением пара. Схема ТУК включала деаэратор и ПТ с отбором пара на деаэратор и, таким образом, была более сложной чем схема ZM.

Целью работы было сравнить комбинированные установки этих двух схем ТУК на базе морских ГТД 3–5-го поколения по эффективности и получить их статические характеристики (зависимости основных параметров от мощности). Предполагалось использовать достаточно большую выборку ГТД различных производителей для получения уравнений регрессии для основных параметров КГПТУ, в числе которых мощность комбинированной установки, производительность КУ, давление пара за КУ, давление в конденсаторе, КПД и удельный расход топлива комбинированной установки, а также разность температур пара и питательной воды на входе в испарительную часть КУ (Pinch-Point), которая в значительной степени определяет диапазон изменения мощности ГТД в комбинированной установке.

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КГПТУ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДАВЛЕНИЯ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА НА НОМИНАЛЬНОМ РЕЖИМЕ

Для того чтобы установить соотношение эффективности КГПТУ с различными схемами ТУК, были выполнены расчеты КГПТУ на номинальном режиме. Результаты представлены в табл. 1 для различных ГТД 3–5-го поколений. При расчете параметров КГПТУ на номинальном режиме, обозначенных индексом 0, для схемы ТУК 1 (с теплым ящиком) и схемы 2 (с деаэратором и паровой турбиной с отбором пара) приняты следующие исходные данные: давление в деаэраторе – 0,2 МПа, разность температур «Pinch-Point» КУ – 25 К, разность температур между газом и паром – 80 К, давление в конденсаторе – 0,01 МПа, температура охлаждающей воды в конденсаторе – 30°C, $P_0 = 2–4$ МПа (схема ТУК с деаэратором) $P_0 = 1–2$ МПа (схема ТУК с теплым ящиком), КПД паровой турбины 0,81, КПД электрогенератора 0,96.

Таблица 1

Сравнение эффективности КППТУ на базе различных ГТД и схем ТУК на номинальном режиме работы ГТД

Поколение	ГТД	Эффективный КПД ГТД, %	Схема ТУК					
			с теплым ящиком и ПТ			с деаэратором и паровой турбиной с отбором пара		
			При давлении перегретого пара, МПа					
			1	1,5	2	2	3	4
Эффективный КПД КППТУ, %								
3	LM2500	37	48.4	48.9	49.1	48.6	48.9	49
4	LM2500+	39	49.3	49.7	49.9	49.4	49.5	49.6
5	LM2500+G4	41,2	51.6	52	52.2	51.6	51.8	51.9
3	UGT15000	35	44.5	44.7	44.8	44.2	44.3	44.2
4	UGT25000	36,5	47.1	47.4	47.6	47.1	47.2	47.3
5	MT30	40	49	49.2	49.3	48.8	48.8	48.8

Расчеты показывают, что, несмотря на низкое давление пара за КУ, схема ТУК с ПТ и теплым ящиком при одинаковых значениях КПД ПТ для всех рассмотренных ГТД (в пределах заданных исходных данных расчета) более эффективна при ее значительно более простой конфигурации. Поэтому применение схемы ТУК с теплым ящиком и низкими параметрами пара для современных морских ГТД можно считать вполне обоснованной. В дальнейшем обе эти схемы рассматривались при определении характеристик КППТУ на переменном режиме. Повышение давления перегретого пара для схемы ТУК с деаэратором мало влияет на КПД КППТУ, который не выше, чем в схеме ТУК с теплым ящиком. Таким образом, использование более сложной схемы ТУК с высоким давлением пара, деаэратором и паровой турбиной с отбором пара не только не дает преимуществ по эффективности комбинированной установки, а даже уступает более простой схеме ТУК с низким давлением пара и теплым ящиком.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКИХ КППТУ НА ПЕРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ

Программа позволяет определять характеристики комбинированной установки при работе ГТД на переменном режиме. На рис.1–4 представлены статические характеристики КППТУ в виде зависимостей относительных параметров КППТУ от относительной мощности ГТД. Результаты обобщены для двухвальных и трехвальных ГТД при различной конфигурации ТУК (с ПТ и теплым ящиком и с ПТ с отбором пара и деаэратором). Достаточно большая выборка ГТД позволила получить уравнения регрессии для основных характеристик КППТУ.

Параметры КППТУ для схем ТУК с паровой турбиной и теплым ящиком и с паровой турбиной с отбором пара и деаэратором. При расчете КППТУ на переменном режиме сохранены исходные данные номинального режима. Давление в конденсаторе P_k изменяется в соответствии с изменением расхода пара при постоянных значениях расхода и температуры охлаждающей воды.

Зависимости относительных параметров КППТУ от относительной мощности ГТД (отнесено к параметрам номинального режима) могут быть аппроксимированы одной регрессией для всех рассмотренных двухвальных и трехвальных ГТД для схем ТУК с ПТ и теплым ящиком и с ПТ и деаэратором с очень высокой достоверной вероятностью для большинства расчетных параметров:

$$\bar{D} = -0.2176 \times \bar{N}_e^2 + 0.9465 \times \bar{N}_e + 0.2706, \quad R^2 = 0,996;$$

$$\bar{N}_{\text{КППТУ}} = 0.9669 \times \bar{N}_e + 0.0339, \quad R^2 = 0,998;$$

$$\bar{P}_k = 0.0106 \times \bar{N}_e^2 + 0.354 \times \bar{N}_e + 0.6352, \quad R^2 = 0,997;$$

$$\bar{P} = -0.2943 \times \bar{N}_e^2 + 0.9743 \times \bar{N}_e + 0.3198, \quad R^2 = 0,982.$$

Регрессии для отношения $\Delta T_{\text{min}}/\Delta T_{\text{min}0}$ имеют пониженную достоверную вероятность в пределах адекватности и различа-

ются для схем ТУК с ПТ и теплым ящиком и с ПТ и деаэратором. Снижение этой величины при уменьшении мощности ГТД для схемы ТУК с ПТ и теплым ящиком более значительно, чем для схемы ТУК с ПТ и деаэратором, что должно учитываться при выборе ΔT_{min} на номинальном режиме (рис. 1).

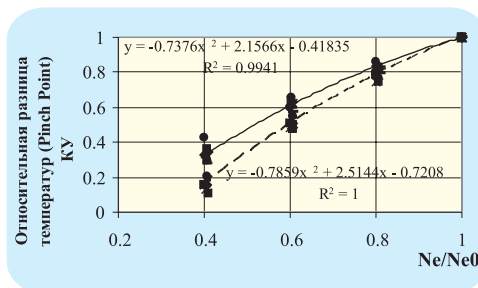


Рис. 1. Зависимости относительного значения разности температур $\Delta T_{\text{min}}/\Delta T_{\text{min}0}$ КУ (Pinch Point) от относительной мощности ГТД (LM 2500, LM+2500, LM2500+G4, M70ФР, UGT15000, SPEY SM1C, MT30, LM1600, MFT8)

— — регрессия для ТУК с теплым ящиком; - - - - регрессия для ТУК с деаэратором

Сравнение эффективности КППТУ. Зависимости относительного значения удельного расхода топлива КППТУ от относительной мощности ГТД для различных конфигураций ТУК практически совпадают и весьма мало отличается для двухвальных и трехвальных ГТД. Это позволило получить единую регрессию для относительного значения удельного расхода топлива от относительной мощности для всей выборки ГТД и двух рассмотренных конфигураций ТУК в пределах адекватности регрессии. На рис. 2 сравниваются регрессии для зависимостей относительного удельного расхода топлива ГТД и КППТУ от относительной мощности для двух рассмотренных конфигураций ТУК для всей выборки двухвальных и трехвальных ГТД. Из рисунка видно, что комбинированная установка становится более эффективной при снижении мощности ГТД для всех рассмотренных ГТД и конфигураций ТУК. Однако снижение удельного расхода топлива невелико и для $\bar{N}_e = 0,4$ составляет примерно 4–6 %.

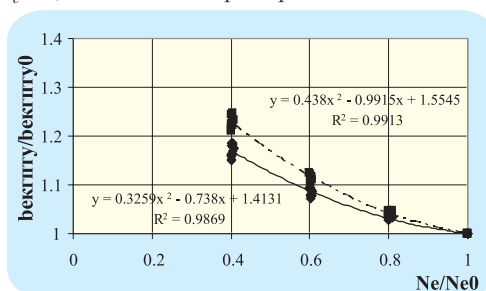


Рис. 2. Сравнение эффективности ГТД и КППТУ для схем ТУК с деаэратором и теплым ящиком на переменном режиме: зависимость относительного значения удельного расхода топлива от относительной мощности ГТД (LM 2500, LM+2500, LM2500+G4, M70ФР, UGT15000, SPEY SM1C, MT30, LM1600, MFT8)

— — регрессия КППТУ для схем ТУК с теплым ящиком и с деаэратором; - - - - регрессия ГТД

Влияние параметров КППТУ на статические характеристики. Для того чтобы сделать полученные статические характеристики универсальными, не зависящими от исходных параметров номинального режима, на рис. 3–4 представлены результаты расчета и регрессии для статических характеристик КППТУ на базе одного из ГТД в широком диапазоне изменения параметров номинального режима для схем ТУК с теплым ящиком и с деаэратором. Получены уравнения регрессии для относительного удельного расхода топлива при изменении каждого из исходных параметров номинального режима. Изменение исходных параметров практически не

влияет на относительный удельный расход топлива КППТУ при различных значениях относительной мощности ГТД. Высокая доверительная вероятность для регрессий позволила свести их в одну регрессию для всех задаваемых параметров в пределах адекватности регрессии (рис. 3).

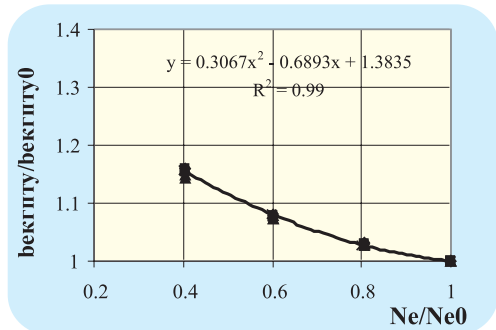


Рис.3. Зависимость относительного значения удельного расхода топлива КППТУ на базе ГТД LM 2500+ от относительной мощности ГТД при различных значениях температуры охлаждающей воды, давления в конденсаторе, разницы температуры между газом и паром, разницы температур КУ (Pinch Point) для схем ТУК с теплым ящиком и с деаэратором.

На рис. 4 представлены зависимости относительного значения минимальной разницы температур $\Delta T_{\min} / \Delta T_{\min 0}$ (Pinch – Point) КУ от относительной мощности ГТД для двух конфигураций ТУК. Величина ΔT_{\min} в значительной степени определяет диапазон изменения мощности ГТД. В схеме ТУК с деаэратором величина ΔT_{\min} снижается быстрее, чем в схеме с теплым ящиком. Это надо учитывать при выборе $\Delta T_{\min 0}$. Например, в схеме с теплым ящиком при $\Delta T_{\min 0} = 20$ К, $\Delta T_{\min} = 5$ К при $\bar{N}_e = 0,4$, а в схеме с деаэратором при $\bar{N}_e = 0,5$.

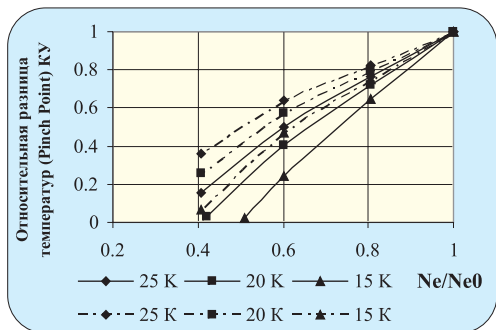


Рис.4. Зависимость относительных значений разницы температуры КУ $\Delta T_{\min} / \Delta T_{\min 0}$ (Pinch Point) КППТУ на базе ГТД LM 2500+ от относительной мощности ГТД
 - - - - схема ТУК с теплым ящиком,
 — — — — схема ТУК с деаэратором и паровой турбиной с отбором пара

На рис. 5 показана зависимость относительного значения удельного расхода топлива КППТУ на базе ГТД LM 2500+ от относительной мощности ГТД (схема ТУК с теплым ящиком) при различных значениях угла поворота сопловых лопаток регулируемого соплового аппарата (РСА) силовой турбины ГТД. В отличие от трехвальной ГТД с регенератором и промежуточным охлаждением воздуха в процессе сжатия использование РСА в двухвальной ГТД не дает существенного повышения эффективности КППТУ на переменном режиме. На режиме частичных нагрузок КПД компрессора двухвального ГТД со свободной силовой турбиной быстро уменьшается при снижении мощности. Поэтому эффективность ГТД на переменном режиме изменяется незначительно. При этом обеспечение постоянной температуры газа на выходе из ГТД при использовании РСА в силовой турбине увеличивает мощность паровой турбины, но не достаточно для существенного снижения удельного расхода топлива.

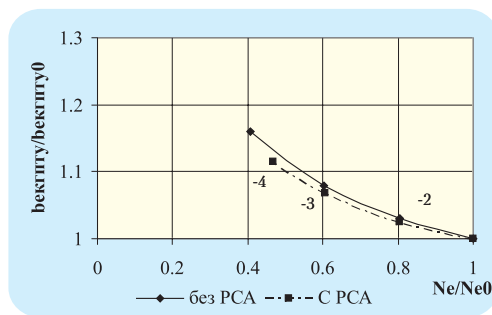


Рис. 5. Зависимость относительного значения удельного расхода топлива КППТУ на базе ГТД LM 2500+ от относительной мощности ГТД (схема ТУК с теплым ящиком) при различных значениях угла поворота сопловых лопаток регулируемого соплового аппарата (РСА) силовой турбины ГТД

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены результаты расчета КППТУ на номинальном и переменном режимах, построены и обобщены в виде регрессионных зависимостей статические характеристики КППТУ. Для расчетного исследования были взяты схемы ТУК с деаэратором и паровой турбиной с отбором пара и ТУК с теплым ящиком и паровой турбиной. Для КППТУ, разработанных на базе ГТД двухвальной и трехвальной схем, получены регрессионные зависимости относительных параметров КППТУ от относительной мощности ГТД. Выборка ГТД 3–5-го поколений составляла четыре двигателя двухвальной схемы и пять двигателей трехвальной схемы. Эффективность схемы ТУК с теплым ящиком несколько выше на номинальном режиме. Эффективность схемы ТУК с деаэратором и паровой турбиной несколько выше на переменном режиме. Различие регрессий для рассмотренных схем ГТД и конфигураций ТУК весьма мало, что позволило обобщить статические характеристики КППТУ одной зависимостью при сохранении адекватности регрессии.

Рассмотрено влияние исходных параметров ТУК на статические характеристики КППТУ. Получена общая регрессионная зависимость относительного значения удельного расхода топлива КППТУ от относительной мощности ГТД для всей выборки исходных параметров ТУК. Установлена зависимость минимальной разницы температуры между газом и паром в КУ от мощности ГТД. В схеме ТУК с деаэратором величина ΔT_{\min} снижается более значительно при снижении мощности ГТД по сравнению со схемой ТУК с теплым ящиком, что необходимо учитывать при выборе параметров ТУК на номинальном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курзон А.Г., Маслов Л.А. Судовые турбинные установки. – Л.: Судостроение, 1991. – 192 с.
2. Маслов Л.А. Судовые газотурбинные установки. – Л.: Судостроение, 1973. – 400 с.
3. Арсеньев Л.В., Тырьшкин В.Г. Комбинированные установки с газовыми турбинами. – Л.: Машиностроение, 1982. – 247 с.
4. Беляев И.Г. Эксплуатация судовых утилизационных установок. – М.: Транспорт, 1987 – 175 с.
5. Woodyard D. Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines. Elsevier Ltd. – 9 edition, 2009.
6. www.gepower.com
7. www.rolls-royce.com
8. www.npo-saturn.ru
9. www.pw.utc.com
10. www.zorya.com.ua
11. V. Ganapathy. Waste heat boiler desk book. Fairmont press Inc. 1991.
12. Rolf H. Kehlhofer, Rolf Bachmann, Henrik. Nielsen, Judy Warner. Combined cycle gas and steam turbine power plants. – 2 ed., 1999. ■

Морские биоресурсы – один из основных источников обеспечения продуктами питания. В связи с периодическим характером их добычи важное значение имеет сохранение их качественных характеристик в период промысла и доставки к местам переработки и потребления.

Основным технологическим процессом, обеспечивающим длительное хранение биоресурсов без ухудшения их качественных характеристик, является процесс замораживания и хранения при низких температурах. При этом качество и длительность хранения биоресурсов существенным образом зависит от скорости и глубины их замораживания.

В ОАО «ЦНИИ «Курс» предложен холодильно-технологический комплекс для глубокой заморозки морских биоресурсов, в котором в качестве холодопроизводящего устройства – низкотемпературная холодильная машина (НХМ), реализующая дроссельный рефрижераторный цикл на многокомпонентной смеси хладагентов.

Эта машина обладает относительно конструктивной простотой, сравнимой с каскадными холодильными машинами энергоэффективностью и высокой надежностью.

Принципиальная гидравлическая НХМ представлена на рис. 1. Особенностью ее являются наличие разделителя жидкости и перепускной линии [1].

Перепускная линия построена так, что при повышении давления нагнетания выше предельно допустимого значения открывается соленоидный вентиль и часть хладагента перепускается в ресивер. Благодаря этому удается ограничить давление нагнетания в пусковой период, что позволяет в НХМ с одноступенчатым компрессором использовать рабочую смесь с большим содержанием низкокипящих компонентов и, следовательно, получить большую холодопроизводительность на низком температурном уровне.

Одними из основных проблем, возникающих при проектировании холодильно-технологического комплекса, являются определение реальной холодопроизводительности НХМ в условиях нестационарного процесса замораживания биоресурсов, а также влияние состава смеси хладагентов на скорость замораживания.

Несмотря на значительный объем работ по применению многокомпонентных смесей в холодильной технике, исследований динамических характеристик НХМ, работающих на многокомпонентных смесях хладагентов, до настоящего времени практически не проводилось.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН НА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЯХ ХЛАДАГЕНТОВ

А.С. Кротов, ст. науч. сотрудник,
Б.А. Макаров, канд. техн. наук, начальник отдела,
В.И. Яковлев, канд. техн. наук, начальник лаборатории,
В.Л. Уманский, зам. генерального директора, ОАО ЦНИИ «Курс»,
 контакт. тел. 8 916 604 7800

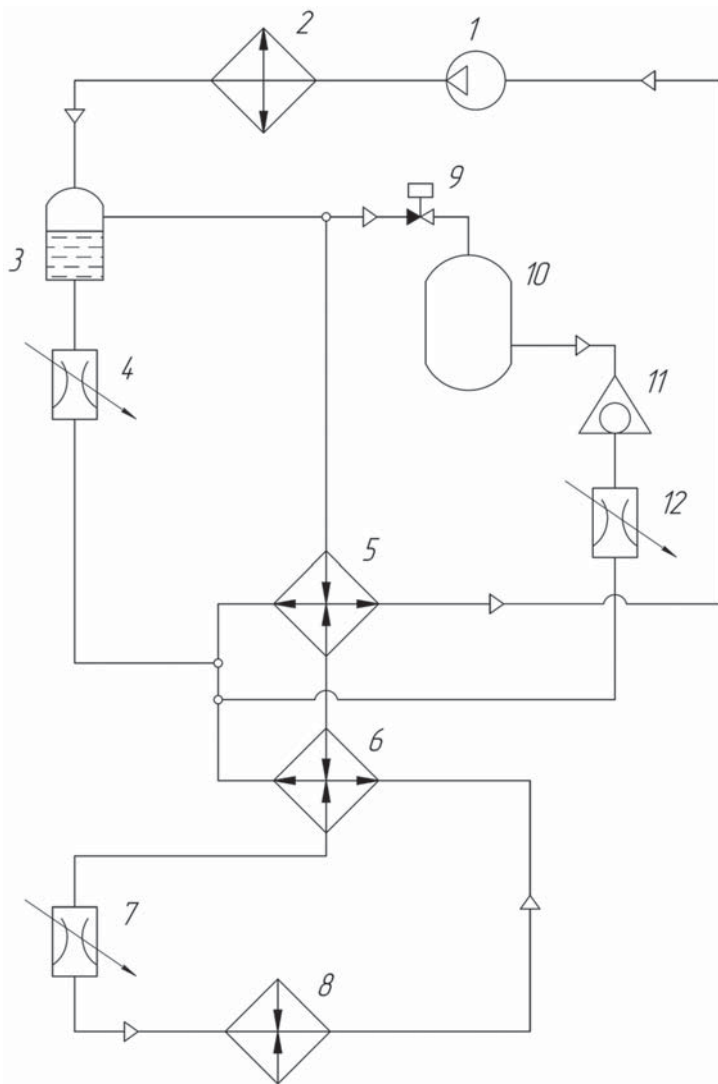


Рис. 1. Принципиальная гидравлическая схема холодильной машины
 1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – отделиватель жидкости; 4 – предварительное дросселирующее устройство; 5 – предварительный рекуперативный теплообменник; 6 – основной рекуперативный теплообменник; 7 – основное дросселирующее устройство; 8 – испаритель; 9 – соленоидный вентиль; 10 – ресивер; 11 – обратный клапан; 12 – дросселирующее устройство.

Для исследования динамических характеристик холодильной машины был создан экспериментальный стенд, имитирующий холодильно-технологический комплекс для глубокой заморозки биоресурсов, в котором в качестве объекта охлаждения использовалась теплоизолированная камера типа «ларь». Стенд снабжен комплексом контрольно-измерительной аппаратуры, позволяющей фиксировать и заносить в электронную базу данных с определенным интервалом времени температуру воздуха в рабочем объеме камеры, температуру стенок камеры, а также температуру и давление в контрольных точках цикла низкотемпературной холодильной машины.

В качестве модельного рабочего тела использовалась смесь хладагентов R142b, R22, R14, обеспечивающая получение температур вплоть до минус 100 °С.

Для определения холодопроизводительности в нестационарном режиме использовалась разработанная компьютерная программа, основанная на расчете нестационарного процесса охлаждения корпуса холодильной камеры [2]. С помощью данной программы, по имеющимся данным о температуре воздуха в рабочем объеме камеры с определенным интервалом времени определяются значения холодопроизводительности низкотемпературной холодильной машины.

На первом этапе исследований, проведенных при различных значениях нагрузки на испаритель, которая имитировалась электрическим нагревателем, было показано, что основным фактором, влияющим на холодопроизводительность НХМ, является текущее значение температуры воздуха в рабочем объеме камеры. Следовательно, результаты исследований, полученные при охлаждении незагруженной камеры можно использовать для расчета времени замораживания помещенных внутрь объектов.

На втором этапе было исследовано влияние компонентов смеси на холодопроизводительность при охлаждении незагруженной камеры относительно холодопроизводительности смеси базового мольного состава: R142b – 25%, R22 – 40%, R14 – 35%, при постоянной величине мольной заправки контура рабочего тела низкотемпературной холодильной машины, равной 12,5 моль.

Базовый мольный состав выбран на основе теоретического анализа цикла НХМ.

На рис. 2 представлена зависимость изменения производительности исследуемой низкотемпературной холодильной машины в процессе ох-

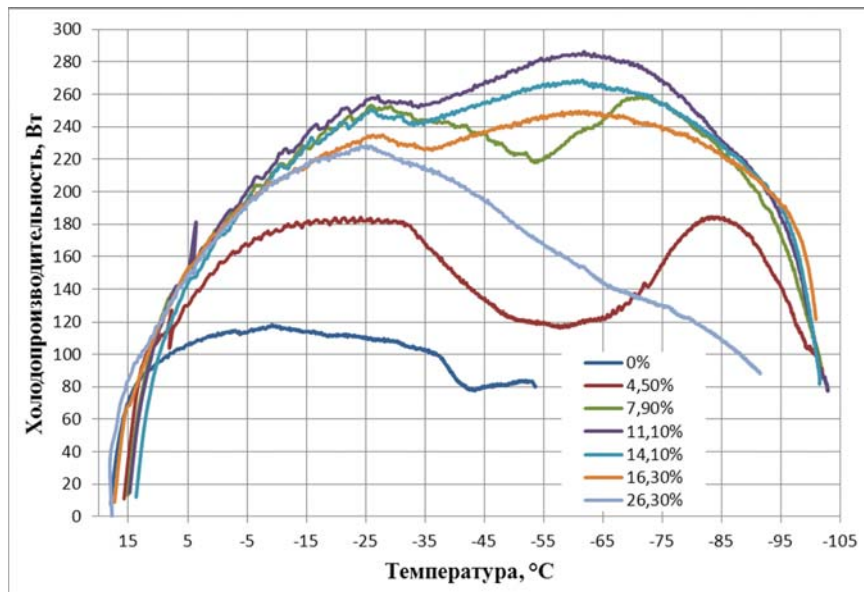


Рис. 2. Зависимость производительности холодильной машины от температуры воздуха в рабочем объеме камеры при различном содержании R142b

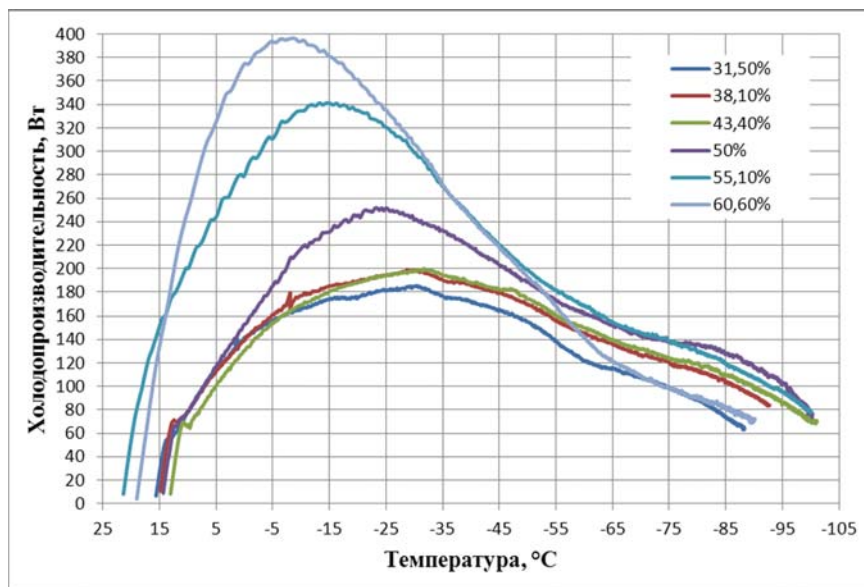


Рис. 3. Зависимость производительности холодильной машины от температуры воздуха в рабочем объеме камеры при различном содержании R22

лаждения от концентрации в смеси высококипящего компонента R142b, при этом концентрации других компонентов смеси изменялись пропорционально их базовым значениям.

Как следует из графиков, существует оптимальная концентрация высококипящего компонента R142b, при которой обеспечивается максимальная холодопроизводительность во всем рассматриваемом температурном диапазоне, равная 11%.

Уменьшение концентрации R142b относительно оптимального значения приводит к снижению эффективности работы рекуперативных теплообменников в диапазоне температур от –35° до –70 °С, повышению относительной концентрации низкокипящего компонента R14, находящегося в газообразном состоянии, на входе в испаритель

и, тем самым, снижению удельной холодопроизводительности.

Дальнейшее увеличение концентрации R142b приводит к увеличению его относительной концентрации на входе в испаритель и, в конечном итоге, к снижению удельной холодопроизводительности в рассматриваемом диапазоне температур.

На рис. 3 представлена зависимость изменения производительности исследуемой холодильной машины в процессе охлаждения от содержания в смеси компонента R22, при этом концентрации других компонентов смеси изменялись пропорционально их базовым значениям.

Из приведенных графиков видно, что холодопроизводительность возрастает при увеличении содержания R22 до 55% практически во всем диа-

пазоне температур воздуха в рабочем объеме камеры. При этом наиболее значительное увеличение холодопроизводительности наблюдается в диапазоне температур от 5 до -40°C . При дальнейшем увеличении концентрации R22 в данной области температур холодопроизводительность продолжает расти, однако при снижении температуры ниже минус 55°C происходит ее резкое падение, обусловленное увеличением относительной концентрации R22 на входе в испаритель и тем самым уменьшением удельной холодопроизводительности при низких температурах.

На рис. 4 представлена зависимость изменения производительности исследуемой холодильной машины в процессе охлаждения от содержания в смеси низкокипящего компонента R14, при этом, как и в предыдущих исследованиях, мольные концентрации других компонентов изменялись пропорционально их базовым значениям.

Как видно из приведенных графиков, при увеличении концентрации R14 от 29 до 43% холодопроизводительность увеличивается во всем диапазоне температур воздуха в рабочем объеме камеры. При этом наиболее значительный рост наблюдается в области температур ниже -40°C . При увеличении концентрации выше 43% область максимальных значений холодопроизводительности смещается в область более низких температур, но при этом несколько снижается холодопроизводительность на более высоком температурном уровне.

Дальнейшее увеличение концентрации R14 при данной мольной заправке смеси приводит к росту стояночного давления выше предельно допустимого пусковым током компрессора.

На рис. 5 представлена зависимость изменения производительности исследуемой холодильной машины в процессе охлаждения от общего количества заправки при базовом составе смеси.

Как следует из приведенных графиков, увеличение заправки приводит к существенному росту холодопроизводительности при температуре воздуха в рабочем объеме камеры выше -40°C , при более низких температурах величина заправки практически

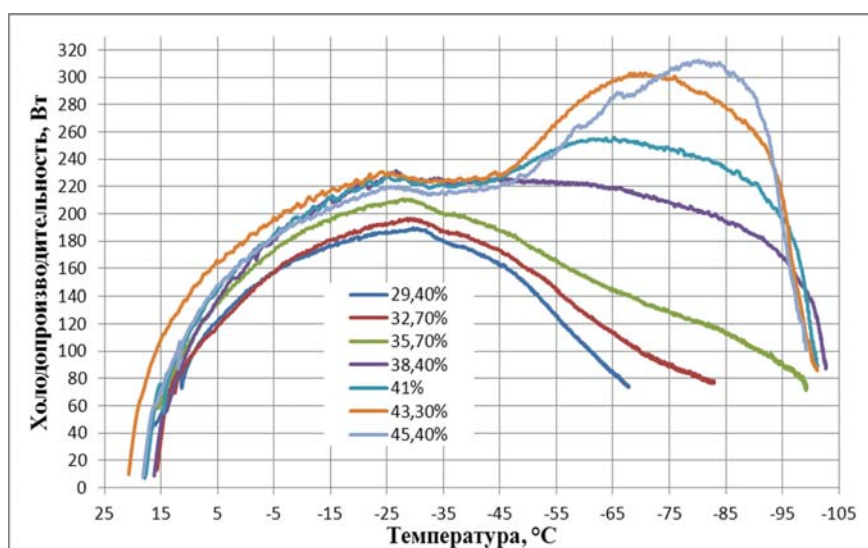


Рис. 4. Зависимость производительности холодильной машины от температуры воздуха в рабочем объеме камеры при различном содержании R14

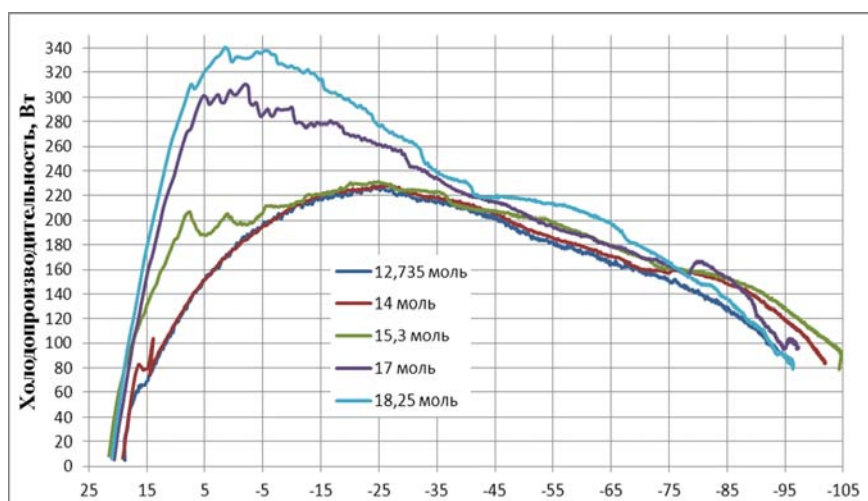


Рис. 5. Зависимость производительности холодильной машины от температуры воздуха в рабочем объеме камеры при различном общем количестве заправки

не влияет на величину холодопроизводительности.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- Существует оптимальная концентрация в рабочей смеси высококипящего компонента, в данном случае оптимальное значение концентрации R142b составило 11%.

- Поскольку скорость охлаждения определяется интегральным значением холодопроизводительности в диапазоне температур от температуры окружающей среды до конечной температуры охлаждения воздуха в рабочем объеме камеры, существует оптимальное соотношение концентраций компонентов R22, R14, обеспе-

чивающее минимальное время охлаждения для каждого значения конечной температуры воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жердев А.А., Кротов А.С., Макаров Б.А. Сравнение рефрижераторных циклов на многокомпонентных смесях хладагентов с предварительным и промежуточным дросселированием // Вестник МГТУ им. Баумана – 2008.
2. Макаров Б.А., Кротов А.С., Жердев А.А. Математическое моделирование динамических тепловых характеристик холодильной камеры // Вестник МГТУ им. Баумана – 2010. ■

КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ОБУЧЕНИЯ

К. Ю. Шилов, д-р техн. наук, генеральный директор,
В. В. Кобзев, д-р техн. наук, проф., зам. начальника отдела,
ОАО «Концерн «НПО «Аврора»,
контакт. тел. (812) 292 9558

В обобщенном виде тренажеры и программные средства подготовки (ПСП) согласно ГОСТ 34.003–90 относятся к автоматизированным системам обучения (АСО). Одним из основных требований, предъявляемых к АСО, является обязательное наличие автоматического контроля работы оператора, позволяющее оценивать уровень обученности по показателям безошибочности и времени выполнения операций управления.

Для создания математических моделей контроля необходимо рассмотреть природу ошибок оператора при отработке навыков управления корабельными техническими средствами (КТС) на тренажере.

При изучении ошибок в операторской деятельности ошибочным будем считать всякое допустимое оператором во время отработки на тренажере и обусловленное любыми причинами неправильное (несоответствующее предписанным требованиям, наставлениям и инструкциям) действие (операция по управлению) или невыполнение требуемого действия независимо от последствий.

Значимость последствий ошибок операторов может быть различной, поэтому будем их подразделять на критические ошибки: события, которые приводят к полному отказу объекта управления, а также небезопасны для людей, эксплуатирующих эти объекты, и существенные ошибки: события, которые вызывают временный отказ в объектах управления или снижение их пригодности к использованию по прямому назначению. Считая, что критическая ошибка в деятельности оператора – маловероятное (по отношению к существенным ошибкам) событие, нормирование показателя безошибочности будем производить по уровню существенных ошибок.

Важным обстоятельством является вид ошибок. Операторы КТС допускают пропуски операций и их последовательность. Гораздо реже встречаются лишние операции. Количественная зависимость вероятности возникновения существенных ошибок от уровня подготовленности оператора представлена на рис. 1.

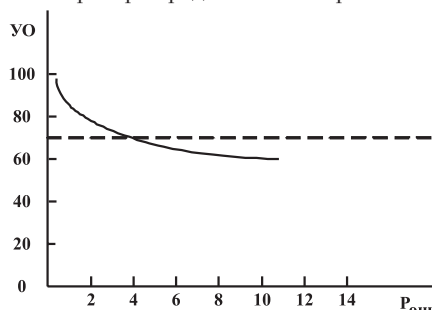


Рис. 1. Зависимость количества ошибок от уровня обученности
УО – уровень обученности, баллы; $P_{оми}$ – предельная вероятность ошибки, %

Все задачи управления, которые обрабатывают операторы КТС, можно разделить на классы сложности.

Для систем управления КТС второго поколения: 1-й класс – задачи, связанные с отказами в канале измерения или управления; 2-й класс – отказы регуляторов и переход на дистанционное или местное управление; 3-й класс – отказы технических средств и отказы, приводящие к срабатыванию аварийной защиты (АЗ) второго рода; 4-й класс – отказы ТС или их групп; 4-й класс – отказы СУ и ТС одновременно.

Для систем управления КТС третьего поколения: 1-й класс – задачи, связанные с переводом ТС из одного режима в другой при безотказном функционировании; 2-й класс – отказы СУ в каналах измерения и управления; 3-й класс – отказы с аварийным отключением отказавших ТС или их групп; 4-й класс – отказы СУ и ТС одновременно.

Зависимость вероятности ошибки оператора ($P_{оми}$, %) от уровня обученности по четырем классам задач для систем второго и третьего поколений представлена в табл. 1.

Таблица 1
Зависимость $P_{оми}$ от уровня обученности из-за алгоритмической сложности задач управления [1]

Класс сложности	Уровень обученности оператора					
	второе поколение СУ			третье поколение СУ		
	отличный	хороший	удовлетворительный	отличный	хороший	удовлетворительный
1	1.5	1.5	2.5	1.5	1.5	15.0
2	1.5	2.5	4.0	1.5	4.0	10.0
3	1.5	4.0	10.0	1.5	6.5	15.0
4	1.5	6.5	10.0	1.5	6.5	15.0

Рассмотрим один из возможных подходов к формализации ошибок оператора при отработке навыков управления на тренажере, который базируется на известном методе «ветвей и границ» [2].

Если разработанную ЦКБ-проектантом инструкцию по управлению корабельными техническими средствами взять за эталон, то отклонения от нее

при обучении оператора и будут его ошибками.

В математическом плане постановка задачи сводится к взаимно однозначному соответствию (биекции) двух множеств: $f: A \rightarrow B$, где $A = a_1, a_2, \dots, a_m$ – цепочка эталонной структуры; $B = b_1, b_2, \dots, b_n$ – цепочка реальной структуры; m и n – число операций в A и B .

На первый взгляд кажется, что $m = n$, но при отработке оператора имеют место ошибки типа пропусков ($m < n$) или добавлений ($m > n$) операций. Тогда обратная функция $f^{-1}: A \rightarrow B$ становится не всюду определенной, и взаимно однозначное соответствие нарушается.

Определим условие существования функции f , которое назовем условием строгого следования: для любых пар операций $(a_{i1}, a_{i2}) \in A$ и $(b_{j1}, b_{j2}) \in B$, для которых $f(a_{i1}) = b_{j1}$; $f(a_{i2}) = b_{j2}$ при условии $i_1 < i_2$ следует $j_1 < j_2$.

Если оператор при управлении КТС на тренажере не допускает ошибок, тогда очевидно $B = A(m = n, a_i = b_i, I = I, m)$. Если ошибки есть, то множество операций A и B необходимо сгруппировать на

чередующиеся подмножества совпадающих и несовпадающих операций.

Для обоснования дальнейших рассуждений воспользуемся подходом, подробно изложенным в [3]. Введем понятия индикатора совпадений (ИС) и индикатора несовпадений (ИН).

ИС – пара совпадающих подмножеств $(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{i+1}) \in A$ и $(b_{j1}, b_{j2}, \dots, b_{j+1}) \in B$, ограниченная несовпадаю-

щими операциями слева ($a_{i-1} \neq b_{i-1}$) и справа ($a_{i+1} \neq b_{i+1}$) или началом и концом множеств **A** и **B**.

Длина индикатора совпадений $l = d_{ис}$.

ИН – пара несовпадающих подмножеств $(a_{i1}, a_{i+1}, \dots, a_{i+v}) \in A$ и $(b_{j1}, b_{j+1}, \dots, b_{j+w}) \in B$, ограниченная совпадающими операциями слева ($a_{i-1} = b_{i-1}$) и справа ($a_{i+v+1} = b_{j+w+1}$) или началом и концом множеств **A** и **B**.

Величина $m(v, w)$ называется длиной ИН $d_{ин}$.

Очевидно, что границами ИН будут: левая – между парами совпадающих и несовпадающих операций; правая – между парами несовпадающих и совпадающих операций.

Уточним понятие ошибки оператора при управлении КТС: пропуск k операций ($v = k; w = 0$); добавление k операций ($v = 0; w = k$); перестановка k операций ($v = k; w = k$); замена k операций другими операциями ($v = k; w = k_2$). Информация о видах ошибок содержится в ИН.

Предположим, что **G** – множество вариантов разбиения подмножеств **A** и **B** на чередующиеся ИС и ИН. В теоретическом плане оператор может ошибаться на каждой операции управления. На практике же наиболее предпочтительным является вариант $g_i \in G$, для которого требуется наименьшее число операций по устранению ошибок в подмножестве **B**, что совпадает с целевой установкой обучения оператора на тренажере.

Таким образом, вариант $g_i \in G$ предпочтительнее, если он выявляет такие ИН, для которых

$$R(g_i) = \sum_{i=1}^N d_{инij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $R(g_i)$ – общее число операций в подмножестве **B**, выполненных с ошибками, при варианте сравнения $g_i \in G$; $d_{инij}$ – длина i -го ИН в варианте $g_i \in G$; N_i – количество ИН в варианте $g_i \in G$.

Процесс генерации вариантов $g_i \in G$ в **F**-сети представляется узлами (вершинами), которые соответствуют ИС, и дугами, которые соответствуют ИН. Истоку сети соответствует первый ИС в сравниваемых подмножествах **A** и **B**. Если $a_1 \neq b_1$, то узел, соответствующий истоку, является фиктивным. Каждому узлу сети (кроме истока) соответствует единственный путь, состоящий из дуг, ведущих от истока в этот узел. Длина пути является суммой длин ИН, соответствующих дугам, из которых образован путь.

Определение функциональной сети (**F**-сети) и ее описательные возможности приведены в [1].

Проиллюстрируем сказанное на примере фрагмента алгоритма по пус-

ку насоса оператором, находящегося на пульте управления КТС. Содержание эталонного и реального фрагментов и их символическое представление показаны в табл. 2.

кие преобразования (законы поглощения, универсального множества и т.п.). В противном случае реальный алгоритм может сильно отличаться от идеального.

Таблица 2

Алгоритм пуска насоса [4]

Содержание фрагмента	Эталонное представление	Реальное представление
Среди органов управления, расположенных на панели, найти ключ управления	Подмножество A : 1 - a_1 , 2 - a_2 , 3 - a_3 , 4 - a_4 , 5 - a_5 , 6 - a_6 .	Подмножество B : пропуск операции 2; перестановка операций 5 и 6.
Поставить ключ в положение «Пуск»	A = $a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6$	1 - b_1 , 2 - b_2 , 3 - b_3 , 4 - b_4 , 5 - b_5 , 6 - b_6 .
Считать информацию с мнемосхемы		B = $b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 b_6$
По загоревшемуся мнемознаку решить, пустился насос или нет		
Если насос не пустился, то вернуться к операции 1 и воспринять положение ключа	Словесный эквивалент: 1-Г,2-0,3-Л,4-0,5-В,6-А	Словесный эквивалент: 1-Г,2-В,3-Л,4-0,5-А
Принять решение о переходе на резервные средства или к восстановлению	ГОЛОВА	ГВЛОА

В виде **F**-сети данный пример будет выглядеть так, как изображено на рис. 2.

Анализ сети показывает, что имеется четыре варианта разбиения подмножеств на чередующиеся ИС и ИН. ИС (узлы сети) для каждого из путей:

- 1) $a_1 = b_1; a_2 = b_4; a_6 = b_5$; (ИС: $a_3 = b_3$ и $a_4 = b_4$ исключены, так как они одновременно входят в вариант II);
- 2) $a_1 = b_1; a_3 a_4 = b_3 b_4; a_6 = b_5$;
- 3) $a_1 = b_1; a_6 = b_5$;

Арабские цифры отражают длины ИН.

Для нахождения всех правых границ надо образовать множество: $\Gamma = (a_1, a_{i+1}, \dots, a_{i+v}) \times (b_j, b_{j+1}, \dots, b_{j+w})$ и из него выбрать такие пары $(a_p, a_r) \in \Gamma$, для которых $a_p = a_r$. Величина v является глубиной перебора $v \leq \max(m, n)$.

С учетом специфики алгоритмов управления КТС введем следующие ограничения.

- Ограничим глубину перебора **V** величиной $d_{инд}$ – допустимой длиной ИН, очевидно, зависящей от числа видов ошибок оператора, которые необходимо идентифицировать. Если при срав-

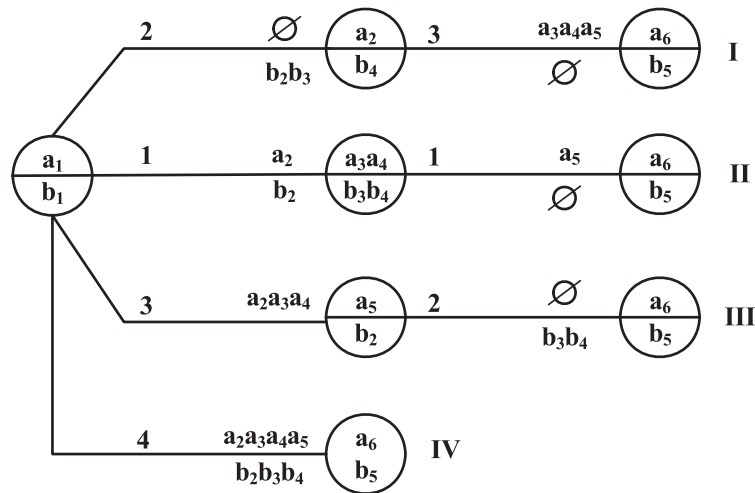


Рис. 2 Функциональная сеть [4]

В соответствии с выражением (1) предпочтительным является второй вариант сравнения, для которого общее число ошибок равно двум.

Ветви, выходящие из каждого узла, соответствуют различным ИН, имеющим общую левую границу ($a_{i-1} = b_{j-1}$, $a_i \neq b_j$), но различные правые границы. Это связано с тем, что алгоритмы управления состоят из разных операций и к ним не могут быть применены формальные алгебраичес-

кие преобразования. В отсутствие ИН длины $d_{ин} \leq d_{инд}$, то эти подмножества будем выводить на экран ПЭВМ рабочего места руководителя обучением для визуального анализа.

- Декомпозируем сравниваемые подмножества **A** и **B** на участки детального анализа, отделенные друг от друга индикаторами совпадений длиной $d_{ис} \leq d_{исд}$, где $d_{исд}$ – допустимая длина ИС. Введение таких участков позволяет заменить предпочтительный по критерию

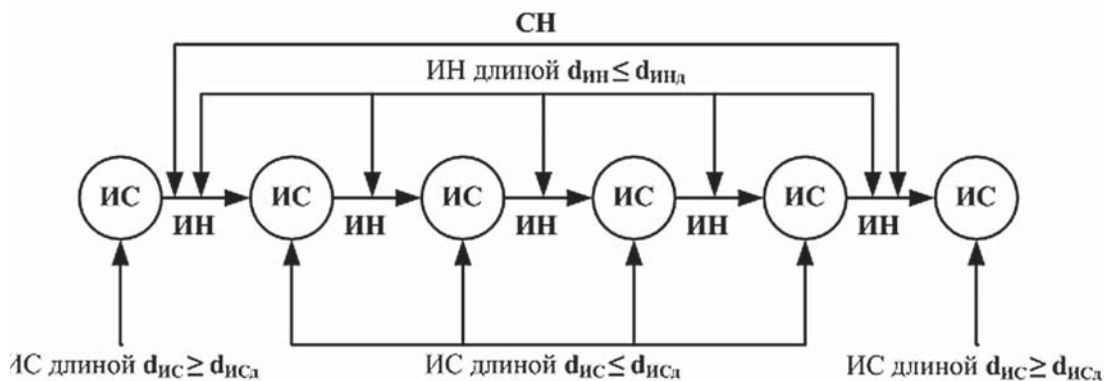


Рис. 3. Совокупность несовпадений

(1) вариант сравнения подмножеств **A** и **B** в целом последовательным поиском варианта в каждом из участков детального анализа.

• Назовем совокупность стоящих подряд ИН длиной $d_{ин} \leq d_{инд}$, ограниченную слева и справа индикаторами совпадений длиной $d_{ис} \leq d_{исд}$, совокупностью несовпадений (СН) (рис. 3) [3].

Количество ИН и СН назовем мощностью подмножества СН и обозначим $M_{СН}$. В соответствии с методом «ветвей и границ» [2] ветвление нецелесообразно:

– если $M_{СН} > M_{Снд}$, где $M_{Снд}$ – допустимая мощность СН; при отсутствии СН мощностью $M_{СН} \leq M_{Снд}$ сравниваемые подмножества выводятся на экран ПЭВМ руководителем обучением для визуального анализа;

– если сумма длин ИН, найденных на *i*-м шаге ветвления, больше (или равна) аналогичной суммы для СН, найденной на предыдущих шагах ветвления.

Отсечение неперспективных вариантов, характерное для метода «ветвей и границ», в данном случае не происходит, так как это приведет к потере части операций в алгоритме управления КТС. Операция отсечения заменена операцией упорядоченного перебора вариантов.

В **F**-сети используются следующие узлы (вершины) [5];

– допускающие ветвление, ИС длиной $d_{ис} < d_{исд}$, за которыми следует ИН длиной $d_{ин} \leq d_{инд}$;

– недопускающие ветвление, ИС длиной $d_{ис} < d_{исд}$, после которых отсутствуют ИН длиной $d_{ин} \leq d_{инд}$;

– исчерпывающие мощность СН, ИС длиной $d_{ис} < d_{исд}$, путь к которым содержит $M_{Снд}$ дуг от начала сети;

– конечные узлы (вершины) – ИС длиной $d_{ис} \geq d_{исд}$.

Смысл упорядоченного перебора вариантов заключается в следующем. Двигаясь по **F**-сети, сначала находят вершину 4, путь к которой имеет наименьшую длину.

Далее анализируют пути к узлам (вершинам) типов 2, 3 и 1, которые не короче наименьшего по длине пути к узлу типа 4, уже найденного на предыдущих шагах ветвления. Возможными путями на сети могут быть варианты: 4,2,3,1; 4,3,2,1; 4,1,2,3; 4,1,3,2; 4,2,1,3 и 4,3,1,2 (см. рис. 2).

Если к пути добавляется один узел (вершина), то показания счетчика мощности $M_{СН}$ увеличиваются на единицу; если совершается возврат по петле или циклу к предыдущему узлу сети, то показания счетчика $M_{СН}$ уменьшаются на единицу. Началу сети (корню) соответствует $M_{СН} = 0$.

Таким образом, модифицированный алгоритм поиска ошибок оператора (без отсечения путей на сети), основанный на методе ветвей и границ, будет состоять из следующих основных операций:

- 1) совместить начальные символы подмножеств **A** и **B** ($I = 1, j = 1$);
- 2) если $I > m, j > n$, то перейти к шагу 18, иначе – к шагу 3;
- 3) если $a_i = b_j$, то перейти к шагу 4, иначе – к 5;
- 4) установить $i = i + 1, j = j + 1$ и перейти к шагу 2;
- 5) найти ИН;
- 6) если $d_{ин} \leq d_{инд}$, то перейти к шагу 7, иначе – к шагу 13;
- 7) если ИН входит в СН, то перейти к шагу 8, иначе – к шагу 5;
- 8) найти ИС;
- 9) если $d_{ис} \geq d_{исд}$, то перейти к шагу 10, иначе – к шагу 11;

10) зарегистрировать найденную СН (номера мест левых и правых границ ИН, входящих в СН) и перейти к шагу 5;

11) прибавить 1 к счетчику $M_{СН}$;

12) если $M_{СН} > M_{Снд}$, то перейти к шагу 5; шагу 13;

13) вычесть 1 из показаний счетчика $M_{СН}$;

14) если $M_{СН} = 0$, то перейти к шагу 15, иначе – к шагу 5;

15) если на шаге 10 зарегистрировалась информация о СН, то перейти к шагу 16, иначе – к шагу 17;

16) распечатать результаты анализа;

17) распечатать подмножества **A** и **B** для визуального анализа;

18) конец алгоритма.

Предлагаемый подход может быть реализован при разработке рабочего места руководителя обучения конкретного тренажера как сегмент его моделирующего устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобзев В. В., Шилов К. Ю. Методы создания технических средств обучения корабельных операторов. – СПб.: Наука, 2005.
2. Захаров И. Г. Обоснование выбора: Теория практики. – СПб.: Судостроение, 2006.
3. Ротштейн А. П., Кузнецов П. Д. Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий. – Киев: Техника, 1992.
4. Шилов К. Ю., Кобзев В. В. Интеллектуальные тренажеры корабельных операторов // Морской вестник. – 2009. – № 1(29).
5. Шилов К. Ю. Интеллектуальные функции корабельных тренажеров и пути их реализации. // Программные продукты и системы. – 2006. – № 4. ■

Длительное наблюдение (мониторинг) за состоянием водной поверхности и прилегающих к ней районов – одно из наиболее перспективных направлений исследования целесообразности применения судовых комплексов беспилотных летательных аппаратов военного (БПЛА) и гражданского назначения [1 – 4].

Наиболее сложная, проблемная и дорогостоящая часть решения данной задачи – осуществление постоянного мониторинга обширных районов морских и океанских акваторий. В этом случае применение авиационных комплексов, осматривающих в течение сравнительно короткого времени достаточно большие площади акваторий с помощью бортовых средств поиска и обнаружения, наиболее оправданно. Применение комплексов БПЛА способно существенно уменьшить стоимость решения данной задачи и риски потери личного состава по сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами самолетного и вертолетного типа.

Сегодня БПЛА мини- и мидикласса представлены достаточно широко. Их разработка и производство возможны во многих странах, поскольку для этого требуются сравнительно небольшие финансовые затраты и под силу небольшим предприятиям.

Для эксплуатации БПЛА не требуется дорогостоящей подготовки летчиков, здесь используются исключительно тренажеры и симуляторы. БПЛА потребляют сравнительно меньше топлива, предъявляют существенно более низкие требования к посадочным устройствам, меньше по размерам и более маневренны.

Однако проблема возвращения БПЛА на судно-носитель до сих пор не имеет удовлетворительного решения.

В настоящее время существуют два подхода к созданию бортовой аппаратуры БПЛА. По пути самолетных систем разведки и целеуказания идут традиционно разработчики самолетной аппаратуры. Однако в этом случае радиоэлектронная бортовая аппаратура летательного аппарата занимает существенные объемы, имеет значительный вес и требует в большинстве штатных ситуаций вмешательства оператора для принятия решения об обнаружении целей, селекции целей на фоне помех, их классификации. Кроме этого, в качестве основного режима управления предусматривается дистанционное управление полетом летательного аппарата. В связи с этим установился термин ДПЛА – дистанционно-пилотируемый аппарат. Здесь большая нагрузка в управлении полетом и при принятии решения лежит на операторах. Это привело к тому, что сущес-

КОРАБЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ АППАРАТУРЫ ОСВЕЩЕНИЯ НАДВОДНОЙ И НАЗЕМНОЙ ОБСТАНОВКИ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ю.Ф.Подоплёкин, д-р техн. наук, проф., академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, первый зам. генерального директора,
С.Н.Шаров, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. (812) 578 9823

твующие малогабаритные БПЛА имеют одну информационную систему (телевизионную), по информации которой оператор управляет движением аппарата и принимает решение о наличии целей и их координатах.

Другой подход, развиваемый в настоящее время в ОАО «Концерн «Гранит-Электрон», основан на принципе бортовых ракетных систем. При таком подходе возможно уменьшить габариты бортовой аппаратуры и максимально повысить автономность БПЛА.

Сравнительный анализ различных вариантов БПЛА самолетного и вертолетного типа показал, что наиболее удобным для автономного целеуказания является летательный аппарат, способный стартовать практически с любого места земли, куда может добраться грузовая автомашина, или с верхней палубы небольшого судна (например, ракетного катера). Именно этим требованиям может удовлетворять, например, летательный аппарат с аэрочным крылом «Бекас» или аппарат вертолетного типа.

Таким образом, беспилотные летательные аппараты – наиболее перспективны для обеспечения разнообразных задач охраны и дистанционной диагностики. При этом целевая аппаратура выполняется в виде сменного блока, в наибольшей степени удовлетворяющей конкретному (преимущественному) назначению.

Целевая аппаратура может иметь различные информационные каналы, и, в зависимости от их технических характеристик, возможна различная тактика просмотра поверхности (разведки). Например, телевизионная аппаратура, имеющая объектив с переменным фокусным расстоянием, осматривает передний сектор в пределах 45–60 угл. градусов по ходу движения БПЛА и, при необходимости, для лучшего распознавания наблюдаемых объектов угол зре-

ния уменьшается до 10–15 угл. градусов по команде оператора или по программе, заложенной в бортовой вычислительной машине. Маневр летательного аппарата заключается в том, чтобы удерживать выбранный объект в поле зрения.

Бортовая радиолокационная станция бокового обзора требует для осмотра заданного сектора поворота или циркуляции летательного аппарата.

Радиометрический информационный канал позволяет обнаруживать противопехотные, противотанковые и морские мины; инфракрасный канал поиска нарушителя требует последовательного облета заданной территории по спиральной или «строчно-кадровой» траектории.

При решении целевых задач требуется решение сопутствующих вопросов, связанных с эксплуатацией БПЛА: доставка целевой аппаратуры в заданную точку, выполнение заданного маневра, возвращение аппарата в точку старта или другую заданную точку поверхности, посадка и транспортировка аппарата на носителе.

Навигационная система решает отдельные подзадачи: взлет БПЛА, маршевое движение БПЛА, маневр (одно или группа типовых движений) БПЛА, посадка БПЛА.

Решение перечисленных задач обеспечивает бортовая система инерциальной навигации совместно с наземной (корабельной) системой управления в автоматическом и полуматематическом режимах.

Подготовку аппарата к полету осуществляет наземная (корабельная) автоматизированная система: вывод аппарата из транспортировочного контейнера, проверка работоспособности всех агрегатов и приборов аппарата и ввод полетного задания в бортовую ЦВМ летательного аппарата. Особое внимание уделяется режиму посадки летательного

аппарата. Для наземных носителей представляется наиболее простым вариант приземления БПЛА в непосредственной близости от носителя, и загрузка его в транспортировочный контейнер при помощи подъемного крана.

Для судов предпочтительнее вариант посадки летательного аппарата на палубу судна, что требует специальных приспособлений для безопасной посадки и фиксации его в условиях качки.

Наиболее простым и дешевым вариантом целевой аппаратуры является телевизионная аппаратура, пригодная для дистанционного наблюдения различных объектов. Информация телевизионного изображения проста для интерпретации оператором общего сюжета и отдельных объектов. По телевизионному изображению оператор может определить положение летательного аппарата относительно поверхности Земли и вносить коррекцию в управление его пространственным движением. Телевизионная аппаратура изменяет свое поле зрения в режимах обзора и сопровождения (опознания) отдельных объектов.

Развитием телевизионной аппаратуры является тепловизионная аппаратура ночного видения, использующая инфракрасное излучение в ближней (2,7–5,5 мкм) и дальней области (8–14 мкм) прозрачности атмосферы.

Недостатком телевизионного и тепловизионного каналов является небольшая дальность действия (определяется метеорологической дальностью видимости), существенное влияние на дальность действия погодных условий и отсутствие измерения дистанции до наблюдаемых объектов. Указанные недостатки компенсируются радиолокационным каналом, обладающим существенно меньшей зависимостью от погодных условий, большей дальностью действия и информацией более адекватной для радиолокационных систем самонаведения. С целью повышения разрешающей способности по угловой координате в горизонтальной плоскости бортовой радиолокатор выполняется с антенной бокового обзора на боковой поверхности корпуса БПЛА.

При достаточном уровне миниатюризации аппаратуры или при увеличении допустимой массы целевой аппаратуры возможно совмещение различных информационных каналов на борту БПЛА.

Использование лазерного визира на БПЛА обеспечит подсветку выбранных оператором объектов для более достоверной их классификации.

Для решения перечисленных вопросов, возникающих при создании целевой аппаратуры в ОАО «Концерн «Гранит-Электрон» имеется значительный научно-технический задел. Образцы отдельных информационных каналов

(активных радиолокационных, пассивных радиопеленгационных, тепловых, лазерных и комбинированных визиров) прошли в полном объеме испытания на береговых стендах и на самолете-лаборатории в натуральных условиях.

НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВ АППАРАТУРЫ ОСВЕЩЕНИЯ НАДВОДНОЙ И НАЗЕМНОЙ ОБСТАНОВКИ (АОНО) НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

АОНО состоит из следующих основных частей:

- БПЛА (один или более аппаратов), укомплектованного бортовой аппаратурой системы управления, связи и сменной целевой аппаратурой – бортовым комплексом аппаратуры;
- корабельный комплекс аппаратуры системы управления (КАСУ), включающий контейнер для хранения и транспортировки БПЛА, пульт управления и аппаратуру связи носителя с БПЛА и другими системами судна. Особое место занимает оборудование тренажера для обучения оператора управлением БПЛА. Как показывает опыт ОАО «Концерн «Гранит-Электрон и других предприятий, целесообразно проводить одновременно проектирование, изготовление системы управления и тренажера;
- контрольно-проверочная аппаратура для проверки АОНО на технической позиции и заводе-изготовителе.

Дополнительно АОНО может включать в себя транспортное средство (контейнер) для транспортировки БПЛА, катапульту для пуска БПЛА и посадочное устройство.

Конструктивно в контейнер-модуль всей аппаратуры АОНО и технических средств, необходимых для судового базирования БПЛА, входят комплект сменных блоков целевой аппаратуры и ЗИП, включая БПЛА в транспортировочном виде.

В состав бортового комплекса аппаратуры БПЛА (рис. 1) входят следующие системы и приборы:

- система управления двигателем БПЛА, включая датчик скорости вращения, регулятор подачи топлива, датчик количества топлива в баке, температуры и т. д.;
- приемопередающая связная радиостан-

ция, обеспечивающая внешнее управление БПЛА во всех режимах полета с корабля-носителя или наземного поста управления;

- система электропитания, включающая электрооборудование двигателя и стабилизированные источники питания бортовой электронной аппаратуры;
- бесплатформенная система навигации на оптоволоконных гироскопах со спутниковой коррекцией, формирующая управляющие воздействия (электрические сигналы) на газодинамические рулевые органы;
- баровысотомер и (или) радиовысотомер;
- индикаторные средства освещения надводной обстановки разведки и целеуказания (или другая целевая аппаратура);
- средства обеспечения посадки (спускаемый трос (фал), карабин или другие приспособления для посадки на палубу судна).

Вычислительные бортовые средства могут быть выделены в отдельный прибор (агрегат), у которого в зависимости от комплектации целевой аппаратуры меняется программа работы. В другом варианте бортовые вычислительные средства могут быть распределены по всем основным приборам бортовых систем, что обеспечивает их автономную отработку и сдачу заказчику на заводе изготовителе.



Рис. 1

Корабельная аппаратура системы управления размещается на носителе БПЛА в одном модуле-контейнере и состоит из следующих основных частей:

- пульт управления стартом и полетом БПЛА,
- выносной (носимый на руках) пульт управления для обеспечения режима посадки БПЛА с визуальным контролем,
- приемопередающая связная радиолокационная станция носителя (связь с БПЛА и при необходимости связь с командным пунктом подразделения);
- система предстартовой подготовки БПЛА и ввода полетного задания;
- приспособления для хранения и транспортировки БПЛА для его запуска и посадки.

Для корабельного варианта базирования АОНО в зависимости от водоизмещения судна могут одновременно использоваться от одного до четырех БПЛА, что требует установки соответственно от одного до четырех модулей. Устройство связи может быть общим. Минимально для эксплуатации АОНО на корабле необходим один человек.

Корабельная часть АОНО (рис. 2) включает антенно-приемо-передающий комплекс радиолиний связи и сопровождения БПЛА, максимально использующий аппаратуру других обзорных РЛС судна.

- В модуле-контейнере размещены:
- прибор предполетного контроля и подготовки БПЛА;
 - прибор обработки и отображения информации, получаемой с борта

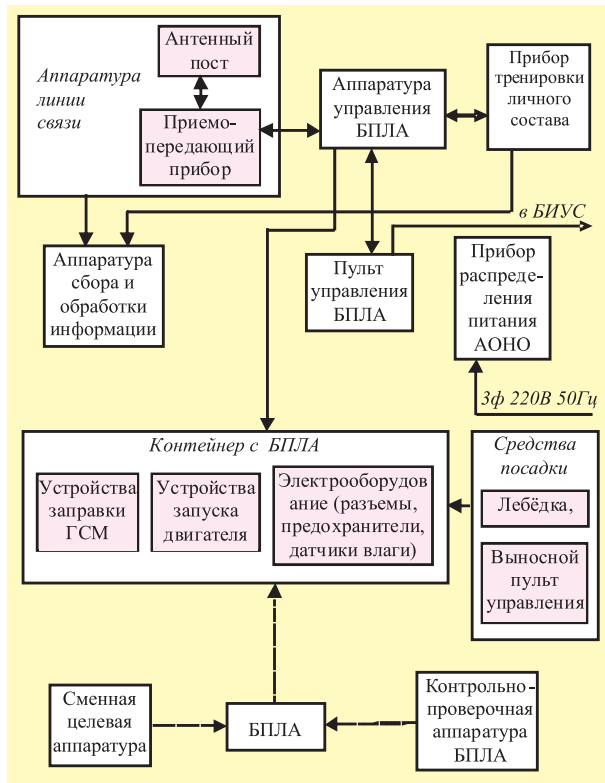


Рис. 2

БПЛА, максимально унифицированный с радиолинией связи и другими, аналогичными по назначению, приборами;

- штатное рабочее место оператора управления полетом и приема информации с БПЛА;
- выносной пульт управления посадкой БПЛА на корабль при возможности визуального контроля.

Структурная схема КАСУ приведена на рис. 2.

Структура и состав бортовой аппаратуры БПЛА, наиболее удовлетворяющие требованиям многофункционального мониторинга, аналогичны структуре и составу современных крылатых ракет, универсальных по целеназначению (морские надводные цели и наземные цели).

Судовая аппаратура БПЛА отличается от корабельной аппаратуры комплексов крылатых ракет в основном программно-математическим обеспечением, так как включает дополнительные функции наблюдения за БПЛА и большим объемом команд и информационного обмена с носителем. Аппаратная часть дополняется устройствами обслуживания самого летательного аппарата (заправка, системы и устройства взлета и посадки) БПЛА.

Методы проектирования и отработки АОНО аналогичны методам проектирования аппаратуры управления крылатыми ракетами, а методы проектирования и отработки целевой аппаратуры освещения надводной обстановки и определения координат целей БПЛА аналогичны методам проектирования головок самонаведения ракет, универсальных по целеназначению (морские надводные цели и наземные цели).

Методы проектирования и отработки АОНО аналогичны методам проектирования аппаратуры управления крылатыми ракетами, а методы проектирования и отработки целевой аппаратуры освещения надводной обстановки и определения координат целей БПЛА аналогичны методам проектирования головок самонаведения ракет, универсальных по целеназначению (морские надводные цели и наземные цели).

ОБЗОР СПОСОБОВ ПОСАДКИ БЕСПЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА МАЛОРАЗМЕРНЫЕ СУДА

Наиболее трудной проблемой является посадка «сухим» методом в отличие от спуска аппарата при помощи парашюта или воздушного шара на воду, после чего необходим восстанови-

тельный ремонт аппарата в результате коррозии от воздействия соленой воды, что связано со значительными расходами.

В связи с этим отрабатываются различные методы посадки аппаратов на палубу судна. Некоторые из них основаны на способах, разработанных для посадки БПЛА на сушу: посадка БПЛА в вертикальную сеть, с использованием крыла-парашюта и подхватом штангой, укрепленной на вертикальном шесте на борту судна, и др.

На рис. 3 приведена классификация способов посадки БПЛА различных типов.

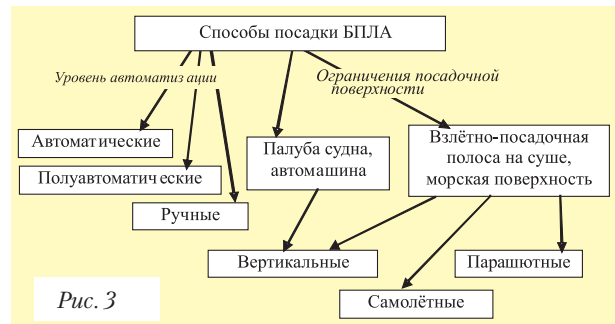


Рис. 3

Пример посадки БПЛА с помощью сети показан на рис. 4.

БПЛА наводится на вертикальную сеть с помощью размещенного на кар-



Рис. 4

данном подвесе электрооптического датчика, установленного за сетью. Датчик обеспечивает снижение БПЛА по глиссаде с наклоном на 2,5°. Автоматическое следящее устройство сопровождает БПЛА и реагирует на любое отклонение аппарата от расчетной посадочной траектории. Сигналы ошибок, соответствующие этим отклонениям, поступают на станцию управления БПЛА, которая передает сигналы коррекции на приближающийся БПЛА. Бортовой блок обрабатывает данные и посылает сигналы на сервомеханизмы поверхностей управления БПЛА для коррекции траектории полета. Для смягчения удара при посадке на нижней части фюзеляжа может быть установлено специальное амортизирующее устройство.

В систему посадки входят следующие компоненты: горизонтальная посадочная сеть, натянутая между двумя прицепами, две вертикальные сети, ус-

тановленные над двумя сторонами горизонтальной сети, и телекамера. Методика посадки следующая: перед возвращением БПЛА одна из вертикальных сетей в зависимости от направления ветра опускается; нейлоновые стропы, привязанные к углам поднятой сети, крепятся к нейлоновым стропам, которые обвязываются вокруг бобины с лентой гидравлических амортизаторов, находящейся на противоположном прицепе. Телекамера установлена на определенном расстоянии от центра горизонтальной сети позади одной из вертикальных сетей. Высота установки и угол наклона телекамеры отрегулированы так, чтобы обеспечить снижение БПЛА по глиссаде с наклоном 4° в середину вертикальной сети, находящейся против ветра.

Посадка БПЛА на борт судна с помощью крыла-парашюта (рис. 5) осуществляется путем подхвата штангой длиной 4,5 м, укрепленной на вертикальном шесте высотой 4,5 м.

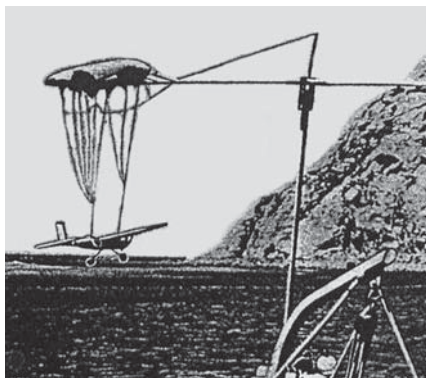


Рис. 5

Парашют с общей площадью 18 м^2 должен раскрываться на конечном участке полета аппарата к судну и обеспечивать снижение его скорости до $18\text{--}35 \text{ км/ч}$. Аналогичные эксперименты по посадке БПЛА, оснащенного крылом-парашютом, выполнялись с использованием штанги, установленной на автомобиле.

В результате анализа существующих систем посадки выявлен ряд недостатков, присущих им: значительный уровень технического риска (вероятность повреждения оборудования и конструкции судна).

Вследствие расположения посадочного устройства в непосредственной близости от элементов конструкции судна, необходимо большое количество дополнительного оборудования для осуществления точного наведения БПЛА. Необходимо внести изменения в конструкцию судна и обеспечить высокую квалификацию обслуживающего персонала.

Менее габаритным является посадочное устройство «Струна» на основе кранбалки, расположенной на борту судна (рис. 6). К концу балки крепится подвижный замок, расположенный вертикально относительно палубы. При полете к

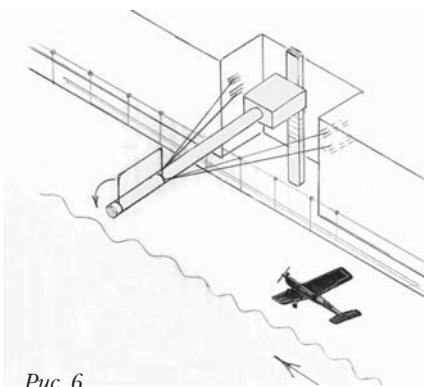


Рис. 6

посадочному устройству из БПЛА автоматически выбрасывается трос (или телескопический штырь), который с помощью карабина зацепляется за подвижный замок. После зацепления тросом посадочного замка происходит автоматическое выключение двигателя.

БПЛА экологического мониторинга (рис. 7) имеет фал длиной примерно 1,5 м. На свободном конце фала закреплен шарик диаметром $5\text{--}8 \text{ см}$, с поверхностью из металлической сетки. Внутри шарика-пробника помещается вата. Шарик-пробник армирован внутри и имеет съемную крышку для начинки

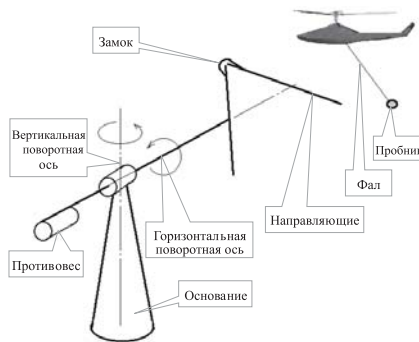


Рис. 7

его ватой и вынимания ваты после приема БПЛА. Шарик с ватой необходим для взятия пробы с водной поверхности в местах, недоступных судну.

Посадка БПЛА осуществляется следующим образом. При помощи системы автоматического управления полетом БПЛА приводится в створ направляющих. Пролетая над ними, БПЛА своим фалом попадает в карабин и зацепляется шариком за замок. После этого выключается двигатель БПЛА, и он повисает за бортом судна. После этого горизонтальная штанга поворачивается на $90\text{--}180^\circ$ и БПЛА освобождается от замка.

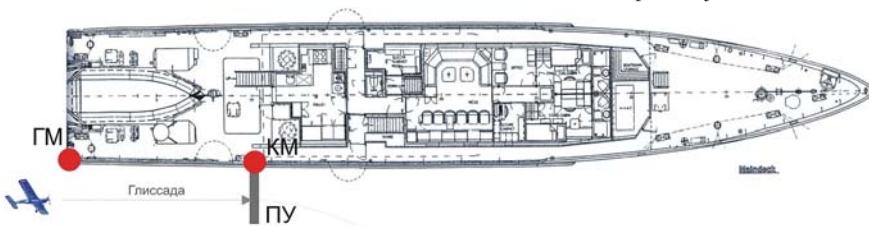


Рис. 8

Преимущества последних вариантов в том, что коридор, в котором подлетает БПЛА, находится вне контура судна. В случае промаха можно повторить маневр посадки при наличии запаса горючего на борту.

Размеры направляющих, стойки и фала определяются точностью системы управления движением БПЛА. Местоположение посадочного устройства выбирается с учетом особенностей конструкции судна. Для обеспечения точности выведения БПЛА в точку посадки в систему посадки вводятся основные и резервные маяки. Для определения координат местоположения БПЛА относительно посадочного устройства достаточно двух маяков, один из которых установлен на корме судна (ГМ), а второй (КМ) – в зоне посадочного устройства.

При расположении посадочного устройства вдоль борта корабля линия ГМ – КМ должна быть параллельна линии посадочной глиссады. Расстояние между линией ГМ – КМ и линией посадочной глиссады может корректироваться и вводится в полетное задание перед стартом БПЛА. Повышение уровня надежности функционирования системы обеспечивается способом резервирования оборудования. Расстояние между маяками определяется расположением посадочного устройства и условиями обеспечения надежности системы посадки. Оно должно быть точно измерено и введено перед полетом в вычислитель бортового оборудования. В темное время суток на линии ГМ и КМ устанавливается дополнительное освещение для визуального контроля за этапом посадки.

Курсовой и глиссадный маяки необходимо располагать в секторе возможного подлета БПЛА без затенения надстройками корабля для сохранения устойчивой связи.

Схема расположения посадочного оборудования на судне показана рис. 8, где обозначены: ПУ – посадочное устройство, ГМ – глиссадный маяк, КМ – курсовой маяк.

Для наведения БПЛА на посадочное устройство необходимо производить корректировку расчетной точки посадки при подлете к судну. При этом возможно маневрирование движением судна и корректировка траектории движения БПЛА.

Для визуального контроля этапа посадки в темное время суток в состав ко-

рабельного оборудования входят сигнальные огни в системе светотехнического обеспечения.

Расположение судовой аппаратуры системы посадки выбирается с учетом положения навигационного и посадочного комплекса судна.

Контроль за процессом посадки в автоматическом режиме производится при визуальном наблюдении БПЛА на этапе его подхода к судну. Выдача корректирующих команд и получение видеoinформации с борта БПЛА производится по линии связи.

Выносной пульт управления посадкой может быть реализован в виде портативного компьютера, соединенного с локальной судовой сетью беспроводным каналом связи. На монитор компьютера выводится цифровая информация о наиболее важных параметрах полета, предупреждающие сообщения, рекомендации и корректирующие команды. Кроме того, на экран монитора выводится графическое (телевизионное, тепловизионное) отображение перемещения БПЛА.

По телевизионному изображению оператор может определить положение летательного аппарата относительно поверхности Земли и вносить коррекцию в управление его пространственным движением.

Кроме информации, автоматически отображаемой на мониторе в ходе посадки, оператор имеет возможность вызывать дополнительную информацию, относящуюся непосредственно к поведению БПЛА, техническому состоянию судовой и бортовой аппаратуры.

АВТОНОМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОСАДКОЙ НА ДВИЖУЩЕЕСЯ СУДНО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С БОРТОВЫМ ТЕЛЕВИЗИОННЫМ ДАТЧИКОМ

Анализ способов посадки БПЛА на движущееся судно показал принципиальную возможность организации следующих способов:

- автономное управление БПЛА с бортовым телевизионным датчиком,
- автоматизированное (с участием оператора) управление БПЛА с бортовым телевизионным датчиком,
- автономное управление БПЛА с судовым телевизионным датчиком,
- автоматизированное управление БПЛА с судовым телевизионным датчиком,
- комбинированное управление БПЛА и судном.

Рассмотрим способ автономного управления БПЛА при помощи координатора на основе телевизионного канала (ТВК). Для этого на борту БПЛА устанавливается телевизионная камера, жестко скрепленная с корпусом БПЛА. Оп-

тическая ось объектива телевизионной камеры параллельна строительной оси фюзеляжа или повернута относительно нее в вертикальной плоскости вниз на величину ожидаемого угла атаки БПЛА, чтобы наблюдать посадочное устройство ближе к центру поля зрения ТВК.

В качестве примера рассмотрим посадочное устройство на кран-балке, вынесенной за борт судна. Расположение кран-балки и сигнальных световых маяков показано на рис. 9.

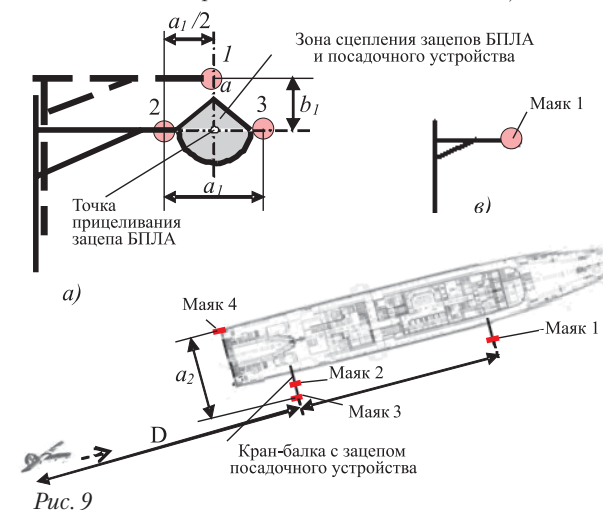


Рис. 9

Для ориентации БПЛА относительно посадочного устройства необходимы минимум три маяка. Пример расположения маяков в вертикальной плоскости зоны зацепления БПЛА и посадочного устройства приведен на рис. 9, а. Характерными конструктивными размерами здесь являются расстояния a_1 в горизонтальной плоскости между маяками 2 и 3, а также расстояние между маяками 1 и 2, например, $a_1/2$. В вертикальной плоскости расстояние между маяками 1 и 2 или 3 обозначено b_1 . В горизонтальной плоскости расположение маяков приведено на рис. 9, б. Маяк 1 удален от кран-балки посадочного устройства на расстоянии b_2 в пределах корпуса судна. Кронштейн (рис. 9, в) обеспечивает расположение маяка 1 в вертикальной плоскости относительно кран-балки, как показано на рис. 9, а.

Дополнительный маяк 4, расположенный на расстоянии a_2 относительно маяка 3, необходим для ориентации БПЛА на дистанциях, при которых угловое разрешение маяков 2 и 3 неудовлетворительно для выработки сигналов, управляющих полетом БПЛА.

Для посадки БПЛА после выполнения полетного задания возвращается на судно-носитель. Траектория последнего участка соответствует самонаведению в центр зоны сцепления зацепов БПЛА и посадочного устройства на малой высоте, обеспечивая движение на постоянной высоте, или плавное снижение по высоте до уровня, например, расположения маяка 1 над поверхностью воды.

Идеальной траекторией сближения БПЛА будем считать горизонтальную прямую линию, проходящую через «дальний» (первый) маяк. При идеальной траектории зацеп БПЛА попадает в центр зоны сцепления посадочного устройства, как показано на рис. 9, а.

При отклонении БПЛА от идеальной траектории на приемном устройстве телевизионного координатора происходит смещение изображений маяков, относительно изображения при идеальной траектории. Оценка ошибки углового рассогласования в горизонтальной и вертикальной плоскостях определяется разностью истинного положения центра пятна засветки каждого маяка и его нулевого положения, соответствующего положению БПЛА на идеальной траектории.

Конструктивные параметры a_1 и b_1 расположения маяков постоянны. Если объектив ТВК имеет неизменное поле зрения, то угловое расстояние между маяками зависят только от дистанции до них.

Увеличение размеров зоны возможного нахождения носителя посадочного устройства относительно БПЛА в начале режима самонаведения приводит к необходимости увеличения размеров углового поля зрения ТВК и, соответственно, к ухудшению углового разрешения и точности измерения углового положения маяков. В этом случае на дистанции более 1 км целесообразно использовать маяк 4, показанный на рис. 9.

Для определения отклонения линии визирования посадочного устройства и, соответственно, отклонения направления полета БПЛА от идеальной траектории необходимо знать дистанцию от БПЛА до посадочного устройства в каждый момент времени измерения.

Систематическая, или медленно меняющаяся, составляющая определяет разрешающую способность ТВК и базовым расстоянием между маяками посадочного устройства. Она уменьшается с уменьшением дистанции между БПЛА и посадочным устройством. Особое внимание здесь необходимо обратить на малую дистанцию, где три маяка не уместятся в поле зрения ТВК. Здесь направление на точку прицеливания определяется по одному центральному маяку. Случайная составляющая ошибки обусловлена оптическими искажениями изображения маяка и распределением интенсивности его излучения на приемном устройстве ТВК,

колебаниями корпуса БПЛА и посадочного устройства.

Моделирование процесса сближения БПЛА с посадочным устройством движущегося судна показывает, что при небольшой разнице скоростей судна и БПЛА рассмотренная система управления БПЛА позволяет обеспечить допустимые погрешности приведения БПЛА в конечное положение и стыковку с посадочным устройством.

Для того чтобы обеспечить захват маяков посадочного устройства, необходимо соответствующее поле зрения бортового ТВК. Ограничением возможного захвата бортового ТВК (дальность обнаружения сигнала маяка). Величина этой дистанции в сильной степени зависит от погодных условий и изменяется в широких пределах. Очевидно, чем больше дальность обнаружения маяков, тем большие допустимые начальные отклонения от идеальной траектории сближения.

Моделирование системы наведения БПЛА на посадочное устройство позволяет определить ограничения на допустимое соотношение скоростей БПЛА и носителя.

ОСОБЕННОСТИ ПРИВЕДЕНИЯ БПЛА К ПОСАДОЧНОМУ УСТРОЙСТВУ ПРИ КАЧКЕ СУДНА-НОСИТЕЛЯ

При качке судна происходит колебательное смещение маяков в горизонтальной и вертикальной плоскостях. На приемном устройстве ТВК наблюдается смещение изображения маяков в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно.

Возможна стабилизация в вертикальной и горизонтальной плоскостях посадочного устройства и маяков при помощи двух электромеханических приводов. При помощи одного электромеханического привода поворота кран-балки в вертикальной плоскости можно компенсировать вертикальное смещение одного маяка точно, а другого маяка, расположенного на этой кран-балке, с некоторой ошибкой.

На рис. 10 показана схема расположения одного маяка на кран-балке, который находится на расстоянии L_2 от оси поворота привода стабилизации. При отсутствии качки кран-балка находится в горизонтальном положении. При наличии угла крена γ кран-балка смещается и поворачивается. Привод стабилизации поворачивает кран-балку на угол γ_n , возвращая маяк в прежнюю горизонтальную плоскость. При этом компенсируется смещение в вертикальной плоскости, но остается смещение в горизонтальной плоскости ΔZ_k , величина которого определяется конструктивными размерами расположения кран-балки на судне.

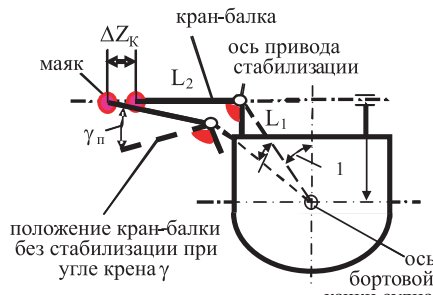


Рис. 10

Уменьшить влияние качки на точность приведения БПЛА в точку прицеливания можно при помощи прогнозирования величины смещения посадочного устройства в момент подлета к нему БПЛА. Угловые колебания изображения маяка на приемном устройстве ТВК соответствуют колебаниям посадочного устройства с периодом бортовой качки судна. Если принять скорость сближения БПЛА и посадочного устройства постоянной, то в каждый момент времени с известной фазой колебаний можно прогнозировать величину смещения точки прицеливания в момент стыковки БПЛА с посадочным устройством.

Проведенные исследования показывают, что имеется реальная возможность создания системы автономной посадки БПЛА с бортовым телевизионным датчиком на движущееся судно даже в условиях значительной качки. Моделирование системы управления и проведенные численные расчеты показали, что предложенная система управления позволяет обеспечить в условиях колебания посадочного устройства с амплитудой 1 м приведение БПЛА в точку прицеливания, с ошибкой не более 10 см при погрешности измерения фазы колебаний качки до 10 угл. градусов и амплитуды до 10%.

Для оценки требований к размерам зоны зацепления БПЛА на посадочном устройстве и уточнения качества управления посадкой БПЛА необходимо уточнить динамические характеристики летательного аппарата, возможность и инерционность изменения его скорости и возможность парирования внешних возмущений атмосферы (ветровых порывов), а также экспериментально подтвердить необходимую точность измерения параметров качки (амплитуда, период и фаза).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования технических путей создания бортовой и судовой систем управления посадкой показали возможность и технические пути обеспечения посадки БПЛА на движущееся судно.

При наличии на борту БПЛА автономной системы самонаведения с телевизионным визиром, способным изме-

рять в реальном времени колебания посадочного устройства, вызванные качкой корабля, принципиально возможно обеспечить приведение БПЛА в центр зоны зацепления с посадочным устройством. Для увеличения точности приведения БПЛА к посадочному устройству в условиях качки целесообразно транслировать на борт БПЛА текущие параметры качки корабля, измеряемые навигационной системой корабля (амплитуду, период и фазу каждой гармоники качки).

При отсутствии на борту БПЛА системы самонаведения информационно-управляющая система корабля с телевизионным каналом может обеспечить приведение БПЛА в центр зоны зацепления с посадочным устройством в условиях качки, используя информацию корабельных средств (навигационной системы, телевизионного канала и дальномера).

Для оценки допустимых условий безопасной посадки БПЛА на судно, допустимых параметров качки, точности измерения ее параметров и параметров движения БПЛА для каждой конструкции посадочного устройства и каждого типа БПЛА необходимо проведение тщательного моделирования, экспериментальной отработки на специальных стендах, разрабатываемых в ОАО «Концерн «Гранит-Электрон».

Предлагаемое захватное устройство может быть изготовлено по известной технологии из известных комплектующих изделий и материалов и использовано для дооборудования судов, применяющихся на борту БПЛА, с незначительным изменением их архитектуры, включая контейнерную упаковку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы посадки беспилотных летательных аппаратов на движущееся судно и технические пути их решения: Сб. статей / Под ред. С.Н. Шарова. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, ОАО «Концерн «Гранит-Электрон», 2010. – 104 с.
2. Подоплекин Ю.Ф., Шаров С.Н. Системный анализ аппаратуры управления беспилотного летательного аппарата судового базирования: Сб. ст. «Вклад научно-технической общности в развитие отечественного судостроения и укрепление обороноспособности России» НТО судостроителей. – СПб.: Остров, 2008. – С. 106 – 117.
3. Шаров С.Н. Информационные управляющие системы беспилотных летательных аппаратов. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т. 2007. – 256 с.
4. Дремлюга Г.П., Есин С.А., Иванов Ю.Л., Лященко В.А. Беспилотные летательные аппараты: Состояние и тенденции развития. /Под ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.Л. Иванова – М: ЛА Воряг, 2004. – 176 с. ■

В 2009 г. ЗАО «Транзас» осуществил поставку навигационно-тактического комплекса (НТК) «ТРИМС-22460» для пограничного сторожевого корабля пр. 22460 «Рубин», построенного на ОАО «Судостроительная фирма «Алмаз».

Новый навигационно-тактический комплекс «ТРИМС-22460», позволяющий довести уровень автоматизации корабля до класса AUT1, содержит систему координированного управления СКУ-22460 разработки ЗАО «Транзас», предназначенную для управления кораблем на малых ходах с помощью единой рукоятки комбинированного управления (РКУ), которую часто называют джойстиком. Эта система позволяет удерживать судно на курсе и в заданной точке, а также двигаться лагом с учетом ограниченной мощности подруливающего устройства и действующего ветра.

Разработанная система СКУ-22460 может быть отнесена к классу систем динамического позиционирования DP(СМ) по классификации Lloyds или к классу DYNPOS AUTS по классификации DNV.

В СКУ-22460 реализованы следующие основные функции:

- ручное изменение направления движения и положения корабля в пространстве, включая движение лагом и разворот на месте;
- переход на новый курс и удерживание судна на текущем курсе;
- удержание судна в текущей точке, в том числе на оптимальном курсе, при котором обеспечиваются минимальные значения упоров средств активного управления для удержания корабля;
- функции аварийно-предупредительной сигнализации, включая самоконтроль системы, контроль датчиков информации и систем дистанционного автоматизированного управления (ДАУ), а также контроль потребляемой электроэнергии.

СКУ-22460 состоит из прибора вычислительного ПВ, каркаса соединительного КС-СКУ и панелей контроля и управления ПКУ-СКУ-АПС и ПКУ-СКУ-РКУ. Для настройки и проверки системы используется переносной компьютер и внешнее запоминающее устройство.

Структурная схема СКУ-22460 приведена на рис.1.

Прибор вычислительный ПВ обеспечивает ввод сигналов с датчиков информации, обмен сигналами с ПКУ-СКУ-АПС, ПКУ-СКУ-РКУ и настроенным компьютером, запись информации на внешние запоминающее устройство; формирование сигналов управления в системы ДАУ, обмен сигналами с системами ДАУ и выдачу

СИСТЕМА КООДИНИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОРАБЛЯ

В.М. Амбросовский, канд. техн. наук, доцент, гл. конструктор,
Ю.В. Баглюк, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, технический директор,
А.Н. Коданев, начальник отдела,
А.С. Корнев, ст. инженер,
ЗАО «Транзас»,
контакт. тел. (812)325 31 31

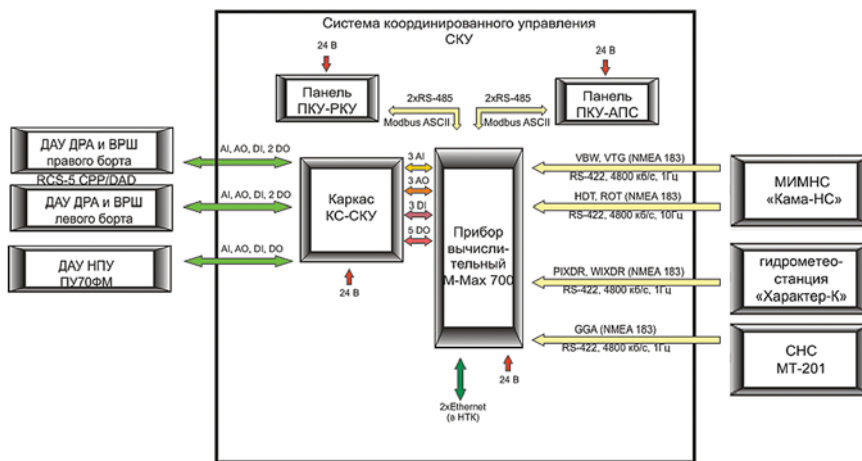


Рис.1. Структурная схема СКУ-22460

информации по дублированной шине Ethernet в интегрированную мостиковую систему.

В качестве прибора ПВ в системе СКУ-22460 используется защищенный компьютер морского исполнения М-МАХ700 [1] компании «Микро МАХ».

Панель контроля и управления ПКУ-СКУ-АПС предназначена для включения/выключения СКУ, задания режимов ее работы, индикации и сигнализации о неисправностях и систем ДАУ, управляемых от СКУ, к которым относятся ДАУ носового подруливающего устройства (НПУ), ДАУ оборотами главного двигателя (ГД) и ДАУ винта регулируемого шага (ВРШ). СКУ-22460 управляет изменением оборотов НПУ и изменением шага ВРШ левого и правого борта.

Панель ПКУ-СКУ-РКУ предназначена для управления движением корабля путем формирования заданных управляющих сигналов, передаваемых в ПВ. Панель ПКУ-СКУ-РКУ должна обеспечивать выдачу трех сигналов управления (заданный момент поворота, заданный продольный упор и заданный поперечный упор) от РКУ.

Эта панель ПКУ-СКУ-РКУ установ-

ливается в пульт управления в рулевой (ходовой) рубке.

Каркас соединительный КС-СКУ предназначен для обеспечения гальванической развязки и преобразования аналоговых сигналов систем ДАУ и системы СКУ.

Информационное обеспечение системы СКУ-22460 включает:

- морскую интегрированную малогабаритную навигационную систему (МИМНС) «Кама-НС»;
- корабельную гидрометеостанцию «Характер-К»;
- приемник спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС МТ-201 РИВР.

Управление рулями направления осуществляется вследствие их малой эффективности на малых ходах, поскольку эти рули стоят вне струи ВРШ.

Важнейшей составляющей системы СКУ является программное обеспечение (ПО), которое включает общее ПО, системное ПО и специальное ПО. Основой специального ПО является алгоритмическое обеспечение СКУ-22460, включающее алгоритмы обработки навигационных данных (алгоритмы фильтрации и оценивания), алгоритмы управления и алгоритмы обеспечения отказоустойчивости. Структура алгоритмического обеспечения представлена на рис.2.

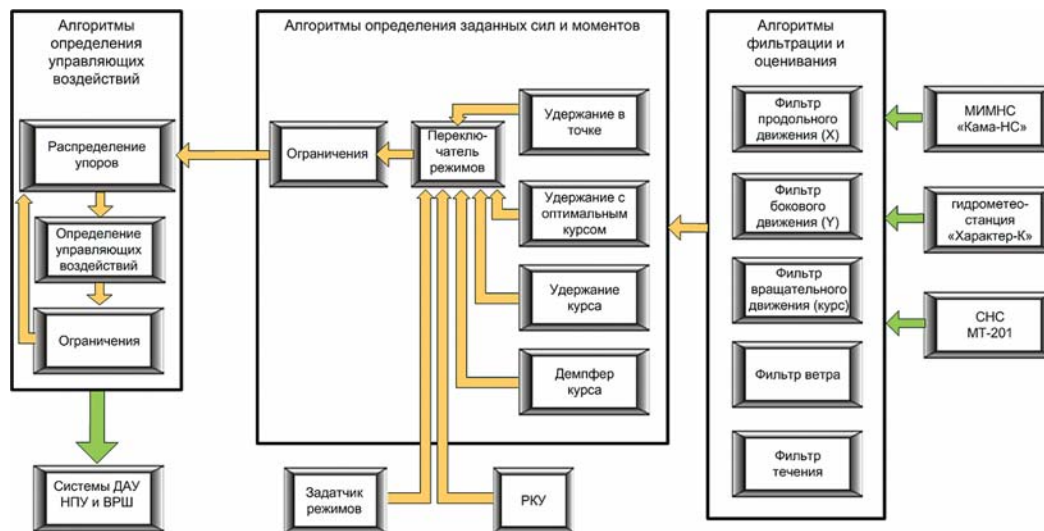


Рис. 2. Структура алгоритмического обеспечения СКУ-22460

Основными алгоритмами управления СКУ-22460 являются: алгоритм распределения заданных упоров по средствам активного управления; алгоритм формирования заданных сил и моментов средств активного управления при движении с заданным ветром скорости; алгоритмы управления кораблем по курсу (алгоритмы маневрирования (разворот, переход на новый курс) и стабилизации), алгоритм удержания судна в точке (алгоритм стабилизации) и алгоритм выхода корабля в заданную точку (алгоритм маневрирования по местоположению).

В качестве примера рассмотрим алгоритм распределения заданных упоров НПУ и ВРШ, схематическое изображение которых показано на рис. 3.

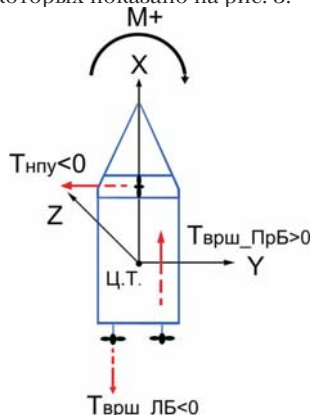


Рис. 3. Структура упоров НПУ и ВРШ

Этот алгоритм для корабля, оборудованного НПУ и двумя ВРШ, имеет вид

$$\begin{aligned} X &= T_{\text{ВРШ_ЛБ}} + T_{\text{ВРШ_ПРБ}} + X_{\text{теч.}} + X_{\text{ветр.}}, \\ Y &= T_{\text{НПУ}} + Y_{\text{теч.}} + Y_{\text{ветр.}}, \\ M &= T_{\text{НПУ}} L_{x\text{-НПУ}} + L_{y\text{-ВРШ}} (T_{\text{ВРШ_ЛБ}} - T_{\text{ВРШ_ПРБ}}) + M_{\text{теч.}} + M_{\text{ветр.}}; \end{aligned}$$

где X , Y , M – заданные продольная и поперечные силы и заданный разворачивающий момент, а $T_{\text{ВРШ_ЛБ}}$, $T_{\text{ВРШ_ПРБ}}$ и $T_{\text{НПУ}}$ – силы, создаваемые ВРШ

и НПУ, которые в общем случае являются функциями с неизвестными параметрами.

Решение задачи распределения упоров сводится к решению системы уравнений при наличии ограничений следующих ограничений:

$$\begin{aligned} |T_{\text{НПУ}}| &< T_{\text{максНПУ}}; |T_{\text{НПУ}}| > T_{\text{минНПУ}}; \\ T_{\text{ВРШл}} &< T_{\text{ВРШ}} < T_{\text{ВРШп}} \quad (\text{для ВРШ каждого борта}). \end{aligned}$$

Рассматриваемая задача может иметь решение, в том числе – единственное, но может и не иметь решения. Наличие или отсутствие решения зависит в первую очередь от вышеприведенных ограничений.

Сила и момент от ветра ($X_{\text{ветр.}}$, $Y_{\text{ветр.}}$, $M_{\text{ветр.}}$) оценивается с помощью известных зависимостей:

$$\begin{aligned} X_{\text{ветр.}} &= 0.5 C_{ax}(\gamma) \cdot \rho_a \cdot S_{CLP} \cdot V_a^2; \\ Y_{\text{ветр.}} &= 0.5 C_{ay}(\gamma) \cdot \rho_a \cdot S_{CLP} \cdot V_a^2; \\ M_{\text{ветр.}} &= 0.5 C_{am}(\gamma) \cdot \rho_a \cdot S_{CLP} \cdot V_a^2; \end{aligned}$$

где C_{ax} , C_{ay} , C_{am} – аэродинамические коэффициенты, которые могут быть определены с помощью продувки модели корабля в аэродинамической трубе; а γ – угол встречи с ветром.

Силы и момент от ветра ($X_{\text{теч.}}$, $Y_{\text{теч.}}$, $M_{\text{теч.}}$) оценивается с на основе данных, получаемых от приемника спутниковой навигации, МИМНС и математической модели движения корабля.

Алгоритмы фильтрации и оценивания включают: алгоритмы оценивания параметров продольного, поперечного и вращательного движения; алгоритм оценки возмущений (оценка параметров течения, сил и моментов от ветра). Алгоритмы обеспечения отказоустойчивости [2] включают прежде всего алгоритмы определения отказов навигационных датчиков и средств активного управления (НПУ, ВРШ).

Важная составляющая алгоритмического обеспечения – алгоритмы идентификации упоров средств активного управления (НПУ, ВРШ) на швартовах и оценить зависимость сил создаваемых НПУ и ВРШ от параметров движения корабля. Это группа алгоритмов идентификации сил и моментов средств активного управления и идентификации параметров модели движения корабля.

В качестве примера рассмотрим задачу определения соотношения сил от ВРШ и НПУ. Соотношение между силами создаваемые ВРШ и НПУ можно определить выполнив ряд маневров. Одним из таких маневров является компенсация момента создаваемого ВРШ моментами создаваемым НПУ. На рис. 4 приведены графики изменения оборотов НПУ при изменении шага ВРШ левого и правого борта, которые создают разворачивающий момент.

Ряд подобных специальных маневров позволяет определять зависимости сил и моментов НПУ и ВРШ от скорости вращения электродвигателя НПУ, скорости вращения гребного вала и шага ВРШ или определить коэффициенты упоров гребных винтов.

Решение зависимостей сил и моментов, создаваемых средствами активного управления, и восстановление кривых действия ВРШ позволяет определять после решения задачи распределения упоров управляющие сигналы для систем ДАУ. Например, по заданной силе ВРШ с использованием известной зависимости

$$T_{\text{ВРШ}} = K_T(h_p, \lambda_p) \cdot \rho \cdot n_{\text{ВРШ}}^2 \cdot D_{\text{ВРШ}}^4,$$

где h_p – шаг ВРШ, λ_p – относительная поступь, определяется коэффициент упора винта K_T .

По кривым действия ВРШ $K_T(h, \lambda_p)$ находят необходимый шаг ВРШ h_p , зна-

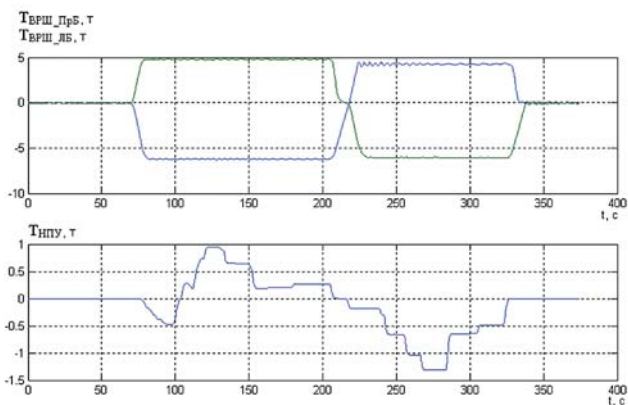


Рис. 4. Компенсация момента от ВРШ с помощью момента от НПУ

чение которого используется для формирования управляющего воздействия U_h на ДАУ ВРШ.

Определение заданных сил и моментов в режимах автоматического управления («Удержание курса», «Удержание точки» и «Удержание точки оптимального курса») может быть выполнено с использованием адаптивных ПИД-регуляторов для продольной и боковой силы и разворачивающего момента. Управляющие силы и момент формируются в виде:

$$X^* = k_{x\max} (k_x \Delta \hat{x} + k_{v_x} \hat{V}_x + k_{xI} \int_0^t \Delta \hat{x} dt);$$

$$Y^* = k_{y\max} (k_y \Delta \hat{y} + k_{v_y} \hat{V}_y + k_{yI} \int_0^t \Delta \hat{y} dt);$$

$$M^* = k_{M\max} (k_\phi \Delta \hat{\phi} + k_{\omega} \hat{\omega} + k_{MI} \int_0^t \Delta \hat{\phi} dt),$$

где k_j – коэффициенты.

Коэффициенты адаптивных ПИД-регуляторов настраиваются в процессе работы системы СКУ, а в качестве параметров продольного, бокового и вращательного движения используются соответствующие оценки ($\hat{\cdot}$), получаемые с помощью фильтров. Наличие интегральной составляющей позволяет компенсировать ошибки в оценках сил и моментов от ветра и течения.

Разработаны алгоритмы управления были реализованы в СКУ-22460 и успешно проверены в 2010 г. в районе г. Новороссийск. Некоторые результаты этих испытаний приведены ниже.

На рис. 5, 6 и 7 показан результат управления СКУ-22460 в режиме «Удержание точки». Корабль шел в режиме управления от РКУ, затем был включен режим «Удержание точки», а потом был включен режим «Удержание в точке с оптимальным курсом». Из рис. 6. видно, что система достаточно хорошо (с допустимым отклонением) удерживает корабль в точке. При сильных возмущениях целесообразно автоматически выбирать оптимальный курс, так как качество стабилизации корабля в первую очередь зависит от мощности средств активного управления и от действующих возмущений.

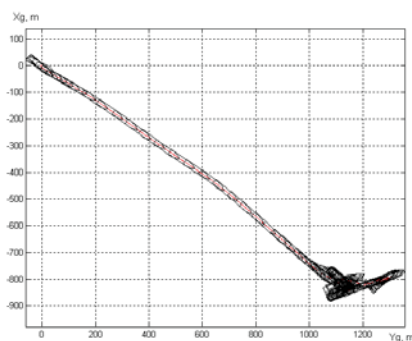


Рис. 5. Траектория движения корабля в режиме управления «Удержание точки».

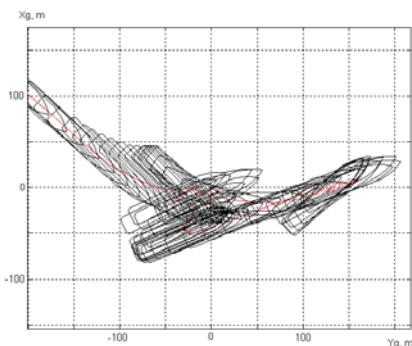


Рис. 6. Траектория движения корабля в режиме управления «Удержание точки»

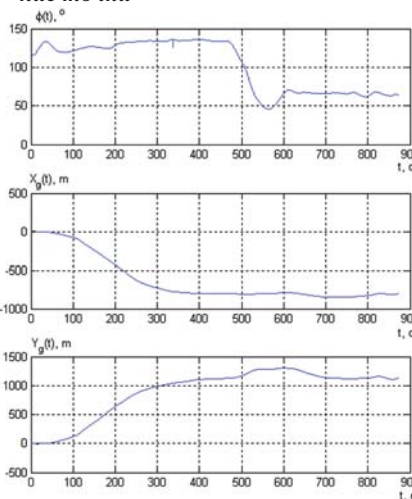


Рис. 7. Временные характеристики изменения координат и курса корабля в режиме управления «Удержание точки»

На рис. 8 и 9 показан результат управления СКУ-22460 в режиме «Удержание курса». В начале маневра РКУ была в нулевом положении, затем был дан передний ход при помощи РКУ, курс удерживался все время. Из рис. 8 видно, что система СКУ позволяет удерживать курс с хорошей точностью при весьма существенных маневрах. Эта функция управления существенно отличается от функции авторулевого, так как авторулевой принципиально не работает на низких скоростях хода корабля.

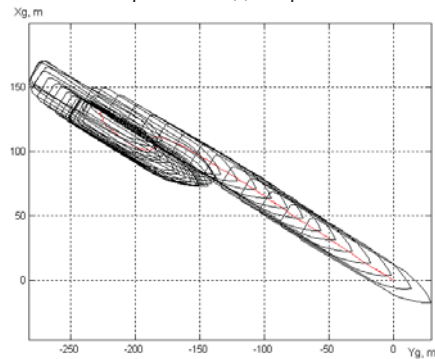


Рис. 8. Траектория движения корабля в режиме управления в режиме управления «Удержание курса» с ручным управлением движением корабля с помощью РКУ

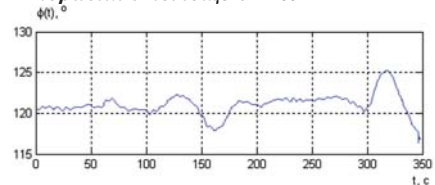


Рис. 9. Временные характеристики изменения координат и курса корабля в режиме управления в режиме «Удержание курса» с ручным управлением движением корабля с помощью РКУ

Как видно из приведенных результатов, система СКУ-22460 разработанная в ЗАО «Транзас», позволяет достаточно хорошо реализовывать функции управления движением корабля на малых ходах в режимах удержания курса и точки. Наиболее существенными факторами, влияющими на качество управления и стабилизации корабля, являются мощность средств активного управления движением (НПУ и ВРШ), возможность их длительной работы, в том числе работы ВРШ на заднем ходу и качество алгоритмов маневрирования и стабилизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаталов А.Т. Дефицит // Автоматизация в промышленности. – 2010. – №9. – С.20–21.
2. Амбросовский В.М., Кац Е.Б., Скоороходов Д.А. Алгоритм обеспечения отказоустойчивости систем управления движением судов на подводных крыльях. // Гироскопия и навигация. – 2000. – №2 (29). – С.11–20. ■

При решении задач комплексирования измерительной информации, поступающей от пространственно распределенных датчиков одной физической природы или от датчиков различной физической природы, имеет место следующий экспериментально проверенный факт: при зарождении какой-либо ситуации, ведущей к сбою в работе системы, разладка первоначально наблюдается на уровне изменения системы корреляционных связей между измерительными каналами, затем – на уровне изменения системы корреляционных связей внутри измерительных каналов, и только на последней стадии – на уровне изменения самих измеряемых параметров и их математических ожиданий.

В данной статье предлагается единая система представления и визуализации данных многоканальных измерений, предназначенная прежде всего для обнаружения и распознавания сбоев в функционировании сложной технической системы на ранних стадиях их развития. Предлагаемый подход к решению данной задачи имеет достаточно общий характер. Каждая сфера его применения требует соответствующей адаптации полученных результатов. Предлагаемый материал в качестве примера ориентирован на задачи оценки пожарной опасности на объектах, защищенных системой охранной пожарной сигнализации (СОПС), по характеристикам оцениваемой измерительной информации, поступающей от ряда ее датчиков (давления, оптической плотности, температуры, инфракрасного излучения, газового анализа и т.д.). При этом количество одноименных датчиков в одной цепи может быть различно и зависит от особенностей охраняемого объекта.

Для классификации состояний системы часто используются не мерой близости выделенных характеристик в соответствующем признаковом пространстве, а специально определяемой мерой сходства.

В алгоритмах распознавания, базирующихся на использовании вероятностных признаков, в качестве меры сходства используют риск, связанный с решением вопроса о принадлежности распознаваемого объекта каждому из выделенных классов. Для приводимого примера это вопрос о принадлежности пожароопасного состояния охраняемого объекта к одному из типовых: пожарная опасность отсутствует; происходит возгорание легко воспламеняющихся жидкостей; происходит возгорание изоляционной обшивки помещения; происходит возгорание кабельных трасс электрооборудования и т. д.

ОБНАРУЖЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ СБОВ В РАБОТЕ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

А.В. Макишинов, д-р техн. наук, проф. СПбГУВК,
В.А. Колесник, д-р техн. наук, проф., зам. генерального директора,
В.А. Солонько, канд. техн. наук, генеральный директор,
ЗАО НПО «Севзапспецавтоматика»,
контакт. тел. +7 921 341 8771

В свете изложенного одна из важных задач состоит в формировании меры сходства между многомерными временными рядами многоканальных измерений, общей или различной физической природы, учитывающей:

- корреляционные связи между различными измерительными каналами;
- корреляционные связи внутри каждого канала;
- характеристики сигналов в различных каналах (на уровне их вероятностных параметров).

Построенная мера сходства должна при этом обладать следующими свойствами:

- допускать распознавание и классификацию ситуаций по методу «ближайшего соседа» с использованием набора эталонов (типовых состояний объекта);
- редуцировать данные измерений для их наглядной визуализации;
- обеспечить достаточно простые расчетные алгоритмы вычисления рисков;
- применяться единым образом, как ко всей системе многоканальных измерений, так и к любой ее подсистеме, в частности к любому отдельному каналу.

В качестве такой меры в данной статье рассматривается модификация информационного расстояния Кульбака-Ляйблера [1].

ИНФОРМАЦИОННОЕ РАССТОЯНИЕ КУЛЬБАКА-ЛЯЙБЛЕРА ДЛЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Пусть X_1 и X_2 – два независимых n -мерных случайных вектора, имеющие плотности распределения соответственно $f_1(X)$ и $f_2(X)$. При теоретико-инфор-

мационном подходе к задачам математической статистики [1] фундаментальную роль играет функционал

$$J(f_1, f_2) = \int f_1(X) \ln \frac{f_1(X)}{f_2(X)} dX, \quad (1)$$

который называют J – дивергенцией, информационным количеством (информационным расстоянием) Кульбака-Ляйблера, энтропией f_1 относительно f_2 .

Отметим одно из важнейших свойств J -дивергенции, оправдывающее ее использование в качестве меры близости вероятностных распределений [2, 3].

Пусть $L_1(X)$ и $L_2(X)$ – функции правдоподобия двух независимых выборок: $X = (x_1, \dots, x_N)$, $Y = (y_1, \dots, y_N)$ одинакового объема N ; $f_1(x)$ и $f_2(y)$ – соответствующие вероятностные плотности. Тогда с вероятностью 1

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \ln \frac{L_1(X)}{L_2(Y)} = J(f_1, f_2),$$

так что при $N \rightarrow \infty$:

$$\ln L_1(X) - \ln L_2(X) \approx NJ(f_1, f_2).$$

В частности, когда

$X_1 \in N_n(\mu_1, \Sigma_1)$, $X_2 \in N_n(\mu_2, \Sigma_2)$, J -дивергенция вычисляется по формуле (1):

$$J(f_1, f_2) = \ln \left| \frac{\sum_2}{\sum_1} \right| + tr(\sum_1 \sum_2^{-1}) + tr(\sum_2^{-1}(\mu_1 - \mu_2)(\mu_1 - \mu_2)^T) - n. \quad (2)$$

Этот результат является устойчивым по отношению к небольшим отклонениям от нормальности и к замене теоретических значений параметров их выборочными оценками [1].

Подставляя в выражение (2) выборочные средние и ковариационные матрицы, получаем оценку J -дивер-

генции, представляющую собой комбинацию статистик трех известных критериев многомерного статистического анализа: W – критерия Уилкса, T^2 – критерия Хотеллинга и T_0^2 – критерия Хотеллинга.

Законы распределения каждой из этих статистик в отдельности имеют чрезвычайно сложный вид [4]. В то же время для их комбинации (2) есть простая формула Бахадура [5], дающая приближенную вероятность P ошибочной классификации в задаче о выборе из двух гипотез: $\{X \in f_1\}$ и $\{X \in f_2\}$ при обучающих выборках в объеме N :

$$P \approx \exp[-NJ(f_1, f_2)]. \quad (3)$$

В негауссовом случае J -дивергенцию можно оценивать непосредственно по формуле (1), подставляя в нее выборочные оценки плотностей f_1 и f_2 [6].

В практике многомерного статистического анализа распространены выражения, представляющие собой упрощения и модификации равенств (1) и (2). Это дискриминантные инварианты Рао [7] и энтропия Берга [8] (на последней основан метод максимальной энтропии в задачах спектрального оценивания) и ряд других. Это многообразие критериев (их неоднозначность) связана с отсутствием в многомерном анализе равномерно наиболее мощных критериев (РНМ-критериев). Любой из выше названных и других известных критериев является РНМ-критерием по отношению к определенному классу альтернатив. Комбинированные критерии, основанные на статистиках типа (1) и (2), представляют собой результаты некоторых компромиссных решений [1].

Предположим, что $\{X_1(t)\}$ и $\{X_2(t)\}$, $t = \dots, -1, 0, 1, \dots$ – два g -мерных стационарных эргодических временных ряда (шаг дискретизации равен 1). Изначально считаем их гауссовыми со средним 0, матричными корреляционными функциями $K_1(\tau)$ и $K_2(\tau)$, матричными спектральными плотностями $S_1(\lambda); S_2(\lambda), \lambda \in [-1/2, 1/2]$. Отрезки каждой их компонент этих рядов длиной « n » можно рассматривать как случайные гауссовы векторы длиной n со средними 0 и ковариационными матрицами \sum_1 и \sum_2 размерности $n \times n$. Матрицы \sum_1 и \sum_2 являются в этом случае блочно – теплицевыми. Их выражения можно получить через значения $K_1(\tau)$ и $K_2(\tau)$.

Рассмотрим задачу оценивания (по одной реализации (2)) информационного расстояния (2) между распределениями этих N -мерных векторов. Обозначим его в данном случае $J(\{X_1(t)\}, \{X_2(t)\})$

и используем в качестве меры близости имеющихся реализаций X_1 и X_2 .

Предположим, что $X_1(t)$ и $X_2(t)$ – регулярные процессы максимального ранга. С учетом ограничений, рассмотренных в [9], из этого следует, что для них существуют представления в виде скользящего среднего:

$$X_j(t) = \sum_{k=0}^{\infty} B_k^{(j)} \cdot \varepsilon_j(t-k), \quad \{\varepsilon_j\} \in WN_r(0, G_j) \quad (4)$$

и авторегрессионные представления

$$X_j(t) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k^{(j)} \cdot X_j(t-k) + \varepsilon_j(t), \quad (5)$$

где $\{\varepsilon_j(t)\}$ – некоррелированные g -мерные белые шумы с матричными интенсивностями G_1 и G_2 (WN – white noise).

Введем оператор сдвига назад на один шаг Δ :

$$\Delta X_j(t) = X_j(t-1); \Delta^k X_j(t) = X_j(t-k).$$

Он позволяет записывать представления (4) и (5) в символической форме:

$$X_j(t) = B_j(\Delta) \varepsilon_j(t), \quad B_j(\Delta) = \sum_{k=0}^{\infty} B_k^{(j)} \Delta^k; \quad (6)$$

$$\varepsilon_j(t) = A_j(\Delta) X_j(t), \quad A_j(\Delta) = I - \sum_{k=0}^{\infty} A_k^{(j)} \Delta^k; \quad (7)$$

$$B_j(\Delta) = A_j^{-1}(\Delta).$$

Соотношения вида (7) называются отбеливающими фильтрами; соотношения (6) называются формирующими фильтрами; белые шумы $\{\varepsilon_j(t)\}$ называются порождающими шумами. Обозначим:

$$e^{(1,2)}(t) = A_2(\Delta) X_j(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k^{(2)} X_j(t-k);$$

$$e^{(2,1)}(t) = A_1(\Delta) X_2(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k^{(2)} X_2(t-k)$$

– выходные сигналы отбеливающего фильтра одного процесса при подаче на его вход другого процесса.

$$B^{(1,2)}(\Delta) = A_2(\Delta) B_1(\Delta) = \sum_{k=0}^{\infty} b_k^{(1,2)} \Delta^k;$$

$$B^{(2,1)}(\Delta) = A_1(\Delta) B_2(\Delta) = \sum_{k=0}^{\infty} b_k^{(2,1)} \Delta^k.$$

При этом $B^{(1,2)}(\Delta) \varepsilon_1(t) = e^{(1,2)}(t)$;

$$B^{(2,1)}(\Delta) \varepsilon_2(t) = e^{(2,1)}(t).$$

Очевидно, что: $a_0^{(1)} = 1, a_k^{(j)} = -A_k^{(j)}, k > 1$ – знаки изменены для удобства дальнейших вычислений. Тогда в принятых обозначениях имеет место следующий результат.

Выражение $J(\{X_1(t)\}, \{X_2(t)\})$ может быть записано в любом из следующих трех эквивалентных видов:

$$1. \frac{1}{2} \ln \left| \frac{G_2}{G_1} \right| + \frac{1}{2} tr \sum_{k=0}^{\infty} b_k^{(1,2)} G_1 b_k^{(1,2)} G_2^{-1} - \frac{r}{2}; \quad (8)$$

$$2. \frac{1}{2} \ln \left| \frac{G_2}{G_1} \right| + \frac{1}{2} tr \sum_{i,k=0}^{\infty} a_i^{(2)} K_i(k-1) a_k^{(2)} G_2^{-1} - \frac{r}{2}; \quad (9)$$

$$3. \frac{1}{2} \ln \left| \frac{G_2}{G_1} \right| + tr \int_0^{1/2} S_1(\lambda) S_2^{-1}(\lambda) d\lambda - \frac{r}{2}. \quad (10)$$

Доказательство этого результата достаточно легко получается из формулы Барама в анализе интервенций [2, 3] из соотношений, связывающих коэффициенты авторегрессионного представления и представления в форме скользящего среднего, а также из уравнений Юла–Уолкера [8–10].

Как следствие, из выражений (8)–(10) для одномерных процессов ($g = 1$) с интенсивностями порождающих шумов σ_1^2 и σ_2^2 формулы (8)–(10) принимают следующий вид:

$$1. \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_1} + \frac{1}{2} \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \sum_{k=0}^{\infty} [b_k^{(1,2)}]^2 - \frac{1}{2}; \quad (11)$$

$$2. \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_1} + \frac{1}{2\sigma_2^2} \sum_{k,j=0}^{\infty} a_1^{(2)} K_1(k-1) \cdot a_k^{(2)} - \frac{1}{2}; \quad (12)$$

$$3. \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_1} + \int_0^{1/2} \frac{S_1(\lambda)}{S_2(\lambda)} d\lambda - \frac{1}{2}. \quad (13)$$

При статистическом анализе параметры процессов заменяются их выборочными оценками. В этом случае интегралы в выражениях (10) и (13) удобно заменить соответствующими интегральными суммами:

$$\int_0^{1/2} S_1(\lambda) \cdot S_2^{-1}(\lambda) d\lambda \approx \frac{1}{2m} \sum_{k=0}^m S_1(\lambda_k) \cdot S_2^{-1}(\lambda_k);$$

$$\lambda_k = \frac{1}{2m} (k+1/2), k=0, \dots, m-1.$$

РЕДУКЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ ОБОБЩЕННЫХ ВЫРАЖЕНИЙ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СОПС

В общем случае процессы оценки состояния охраняемого объекта по виду многомерного вектора, формируемого показаниями датчиков и корреляционными связями между ними, являются случайными функциями времени.

Рассмотрим пример формирования информационного расстояния Кульбака–Ляйблера, определяющего близость текущего состояния объекта к одному из двух типовых (эталонных) состояний. Пусть

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1(k) \\ \varepsilon_2(k) \end{bmatrix} \in WN_2 \left\{ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 \end{bmatrix} \right\};$$

$$x_1(k) = \alpha_1 x_1(k-1) + \varepsilon_1(k);$$

$$x_2(k) = \alpha_2 x_2(k-1) + \varepsilon_2(k);$$

$$|\alpha_1| < 1; |\alpha_2| < 1.$$

В операторной форме

$$(1 - \alpha_j \Delta) \cdot x_j(k) = \varepsilon_j(k), j=1, 2;$$

$$x_j(k) = \frac{1}{1 - \alpha_j \Delta} \varepsilon_j(k) = \sum_{j=0}^{\infty} \alpha_j \varepsilon_j(k-1).$$

В стационарном режиме

$$Mx_j(k) = 0;$$

$$K_j(k-1) = M\{x_j(k) \cdot x_j(1)\} = M\left\{ \sum_{p,g=0}^{\infty} \alpha_p^j \cdot \alpha_g^j \cdot \varepsilon_j(k-p) \cdot \varepsilon_j(1-g) \right\} = \sigma_j^2 \sum_{j=1}^{\infty} \alpha_j^{2(k-1)} = \sigma_j^2 \frac{\alpha_j}{1 - \alpha_j};$$

$$B^{(1,2)}(\Delta) = \frac{1 - \alpha_2 \Delta}{1 - \alpha_1 \Delta} = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \alpha_1^{k-1} \Delta^k$$

Рассмотрим выражения для

$$2J(\{x_1(t)\}, \{x_2(t)\}) + 1 - 2 \ln \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right),$$

получающиеся из формул (11) – (13):

$$1. \quad \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \left[1 + \sum_{k=1}^{\infty} (\alpha_1 - \alpha_2) \alpha_1^{2k-2} \right] = \frac{\sigma_1^{2\sigma}}{\sigma_2^2} \left[1 + \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)^2}{1 - \alpha_1^2} \right] = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \frac{1 - 2\alpha_1 \alpha_2 + \alpha_2^2}{1 - \alpha_1^2};$$

$$2. \quad \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \left[(1 + \alpha_2^2) \cdot K_1(0) - 2\alpha_2 \cdot K_1(1) \right] = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \cdot \frac{1 - 2\alpha_1 \alpha_2 + \alpha_2^2}{1 - \alpha_1^2};$$

$$3. \quad S_i(\lambda) = \sigma_i^2 \cdot |1 - \alpha_i \exp(-2\pi i \lambda)|^{-2} = \frac{\sigma_i^2}{(1 + \alpha_i^2) - 2\alpha_i \cdot \cos(2\pi \lambda)}.$$

Отсюда

$$\int_0^{1/2} S_1(\lambda) \cdot S_2^{-1}(\lambda) d\lambda = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \int_0^{1/2} \frac{(1 + \alpha_1^2) - 2\alpha_1 \cos(2\pi \lambda)}{(1 + \alpha_1^2) - 2\alpha_1 \cos(2\pi \lambda)} d\lambda = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \cdot \frac{1 - 2\alpha_1 \alpha_2 + \alpha_2^2}{1 - \alpha_1^2}.$$

Таким образом,

$$J(\{x_1(t)\}, \{x_2(t)\}) = \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_1} + \frac{1 - 2\alpha_1 \alpha_2 + \alpha_2^2}{2(1 - \alpha_1^2)} - \frac{1}{2}.$$

В ряде случаев процессы формирования вектора состояния объекта как случайные функции времени не содержат постоянной составляющей, поскольку она отсутствует в электрическом сигнале на выходе датчиков СОПС. Однако для некоторого типа датчиков существенное значение может иметь медленно меняющаяся составляющая, локально описываемая как постоянная. В таких случаях, когда процессы $X_1(t)$ и $X_2(t)$ имеют ненулевые средние $MX_1(t) = \mu_1$, $MX_2(t) = \mu_2$, в выражениях для $J(\{X_1\}, \{X_2\})$ появляется дополнительное слагаемое:

$$\text{tr} \left[G_2^{-1} (\mu_2 - \mu_1) (\mu_2 - \mu_1)^T \right]$$

или $[(\mu_2 - \mu_1) / \sigma_2]^2$ в одномерном случае. Все остальные соотношения остаются без изменений.

На практике параметрические модели выгодно применять для анализа процессов в выделенных узких полосах, а для более широких диапазонов целесообразно использовать более общие формулы (10) и (13) со сглаженными непараметрическими оценками спектральных плотностей. В первом слагаемом в формулах (10) и (13) при этом приходится использовать не обобщенные дисперсии порождающих шумов, а обобщенные дисперсии (определители ковариационных матриц) самих измеряемых процессов.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СБОЕВ (РАЗЛАДКИ) ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

Представления о ходе процессов разладки наблюдаемой системы можно получить, раскладывая статистику Кульбака–Ляйблера по трем осям:

– началу координат соответствует случай нормального функционирования объекта (реализация $\{x_0(t)\}$);

– по одной оси откладывается расстояние Махаланобиса между $\{x_0(t)\}$ и реализацией $\{x_1(t)\}$, соответствующей наблюдаемому состоянию объекта (квадратный корень из третьего слагаемого в формуле (2);

– по другим осям откладываются квадратные корни из первого и второго слагаемых в формуле (2) (или из эквивалентных выражений). При этом квадрат длины радиус-вектора, представляющего $\{x_1(t)\}$, равен $J(\{X_0(t)\}, \{X_1(t)\})$.

В большинстве случаев разладка сначала проявляется в виде изменения системы корреляционных связей внутри измерительных каналов и между каналами (увеличение третьей компоненты) и лишь на последней стадии наблюдается появление аномального тренда и возращение разладки на уровне математических ожиданий самих измеряемых параметров.

При комплексировании показаний датчиков различной физической природы обычно используют значения выходного электрического сигнала в единицах напряжения. Этот выбор представляется неудачным, поскольку при математической обработке результатов измерений наибольший вес автоматически приобретают сигналы с большими значениями выходного напряжения. Выход состоит

в переходе к естественной безразмерной шкале, в которой за единицу принимается средний квадрат отклонений (СКО) измерений, соответствующих бездефектной работе изделия.

ВЫВОДЫ

В статье предложена единая система представлений и визуализации данных многоканальных измерений, основанная на модификациях информационного расстояния Кульбака–Ляйблера и предназначенная для обнаружения и распознавания типовых изменений состояния контролируемой системы на ранних стадиях их развития. Приведены новые расчетные формулы, позволяющие обобщить для анализа временных рядов многоканальных измерений различной физической природы известные результаты, используемые в многомерном статистическом анализе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кульбак С.* Теория информации и статистика. – М.: Наука, 1967.
2. *Baram S.* An information theoretic approach to dynamical systems modeling and identification // IEEE Trans. – 1978. – Vol.AC-23. – P.61–68.
3. *Gersch W.* Nearest neighbor classification of time series. – In: Applied time series analysis / II, ed. D.F.Findly. – N.Y.A.P., 1981.
4. *Jonson N.L., Kotz S.* Distributions in statistics continuous multivariate distributions. – N.Y., 1972.
5. *Zabell S.L., Bahadur R.R.* Large deviations of the sample mean in general vector spaces // ANN. Of Prob., 1979, p. 587–621.
6. *Макишанов А.В., Яковлев В.А.* Методы распознавания сложных систем и их состояний. – Л.: Воениздат, 1968.
7. *Рао С.Р.* Линейные статистические методы. – М.: Наука, 1968.
8. *Кушнир А.Ф., Латшин В.М.* Параметрические методы анализа многомерных временных рядов. – М.: Изд-во АН СССР, 1968.
9. *Хеннан Э.* Многомерные временные ряды. – М.: Мир, 1974.
10. *Бендат Дж., Пирсол А.* Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1989. ■

Наблюдающаяся интенсификация процессов освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа РФ в большой степени предопределяет значительное расширение масштабов этой деятельности, в том числе в области морских перевозок, научной и военно-морской и в перспективе будет возрастать.

Исходя из анализа потенциальных угроз в данной области, в качестве одной из главных проблем стратегия развития морской деятельности выделяет увеличение рисков возникновения морских аварий и нефтяных разливов, развития их до уровня катастроф, связанное с повышением интенсивности судоходства, активизацией разведки и добычи нефти на континентальном шельфе, строительством нефтяных терминалов и увеличением объема перевозок нефти морем.

Составляющими общей угрозы безопасности при освоении и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений являются:

- ситуационные причины и источники,
- внешние,
- природно-климатические,
- антропогенные,
- технико-технологические,
- проектные,
- информационные.

Для снижения этих угроз безопасность освоения и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений должна обеспечиваться организационными мерами, совершенствованием нормативной базы ведения морской деятельности, а также внедрением технологий сквозной оценки и управления рисками реализации морских проектов, использованием таких функциональных систем морской деятельности, как навигационно-гидрографическое обеспечение (НГО); аварийно-спасательное обеспечение (АСО); контроль безопасности судоходства и обеспечение безопасности мореплавания и др.

Анализ указанных функциональных систем морской деятельности показывает, что они относятся к глобальному, и региональному уровню, слабо взаимосвязаны и реализуются различными федеральными органами исполнительной власти. Однако должной оперативности и эффективности обеспечения безопасности объектов морской деятельности не наблюдается, что зачастую ведет к неоправданному дублированию направлений развития технических средств, систем и т. п.

Для разрешения сложившейся проблемной ситуации необходимо эффективно использовать потенциал сотрудничества с Минобороны (ВМФ), полномочия которого определены федеральным законодательством, Военной доктриной РФ, «Положением о Министерстве обороны» (Утв. Указом Президента РФ от 16 августа 2004 г. N 1082) и другими нормативными правовыми документами РФ.

Это сотрудничество, в частности, может осуществляться по следующим направлениям:

- навигационно-гидрографическое обеспечение морских путей;
- организация картографических работ в интересах обороны и развития морских путей;
- разработка морских коридоров и схем разделения движения в территориальном море РФ;
- координация проведения системных исследований морской деятельности РФ;

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ВМФ И ОАО «ГАЗПРОМ» – ЗАЛОГ СИСТЕМНОГО РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ

*С. П. Алексеев, д-р техн. наук, проф., генеральный директор,
А. Н. Добротворский, д-р техн. наук, проф., зам. генерального директора,
П. Г. Бродский, д-р воен. наук, проф., директор ЦИИ, ОАО «ГНИНГИ»,
контакт. тел. (812) 322 0804, 327 9924*

– руководство созданием и организацией функционирования единой государственной системы освещения подводной и надводной обстановки;

– создание и поддержание условий для безопасности экономической и других видов деятельности РФ на море;

– координация проведения мероприятий по развитию и использованию прибрежно-береговой инфраструктуры военного и двойного (военного и гражданского) назначения.

Исходя из содержания сферы ведения Минобороны в области морской деятельности и приоритетных научно-технических проблем, стоящих перед ОАО «Газпром», в 2003–2010 гг. было организовано сотрудничество ВМФ и ОАО «Газпром», проводимое в рамках соответствующих планов совместной деятельности.

Повышению эффективности освоения морских нефтегазовых месторождений и обеспечение их безопасности (с учетом сферы ведения Минобороны), реализованное в рамках этих планов способствовали системная основа и тесная координация проводимых работ. Увеличение объемов работ, масштабов и сложности решаемых проблем, а также отработка плановой организации позволили достичь весомых результатов, особенно при реализации «Плана совместной деятельности ОАО «Газпром» и Военно-Морского Флота на 2008–2010 годы в области освоения энергетических ресурсов шельфа Российской Федерации и повышения безопасности морских нефтегазовых объектов».

Мероприятия плана совместной деятельности на 2008–2010 гг. велись по четырем направлениям:

– совместные работы в области реализации проекта «Северный поток»;

– совместные работы в области реализации мероприятий в Арктике;

– совершенствование нормативной базы при производстве работ в морской акватории;

– совершенствование технических средств и материально-производственной базы разведки и освоения морских нефтегазовых месторождений.

Обобщенными результатами работ по этим направлениям стали:

1. В области реализации проекта «Северный поток». В целях обеспечения безопасности строительных работ от угроз техногенного происхождения в районах прохождения трасс морского трубопровода на Балтике были созданы условия, обеспечивающие безопасную реализацию планов строительства газопровода (рис. 1).



Рис. 1. Результаты совместных работ в области реализации проекта «Северный поток»

В 2009–2010 гг. ОАО «ГНИНГИ» совместно с компанией «Нептун», 1 ЦНИИ МО РФ и Балтийским флотом выполнен комплекс работ по подготовке к строительству российского участка трассы газопровода «Северный поток» в Финском заливе, состоящей в обследовании и обезвреживании опасных объектов техногенного происхождения.

Для выполнения работ были:

- разработаны необходимые организационно-методические документы (Программа работ по обследованию участка трассы «Северный поток», План обеспечения безопасности строительства газопровода «Северный поток», нормативный документ Системы стандартизации ОАО «Газпром» Р Газпром «Рекомендации по обеспечению безопасности при производстве морских инженерно-изыскательских работ от опасностей техногенного происхождения (ОТП)»);
- проведены исследования и изыскания по трассе газопровода в Балтийском море, в бывших опасных районах;
- осуществлены подготовка и обезвреживание обнаруженных взрывоопасных предметов.

По результатам работ:

- начальник штаба Балтийского флота принял решение об открытии района для строительства газопровода «Северный поток» с объявлением в Извещениях мореплавателям;
- разработан и готов к введению План обеспечения безопасности строительства газопровода проекта «Северный поток» в российском секторе в случае обнаружения единичных взрывоопасных предметов (ВОП).

При этом были использованы самые современные технико-технологические решения и оборудование, накоплен уникальный опыт организации взаимодействия с выделенными силами ВМФ.

Уникальность выполненных сложных операций определила основной результат работ – на основе взаимодействия со Штабом Балтийского флота, разработки необходимых документов и реализации мероприятий безопасности обеспечен благоприятный оперативный режим реализации планов проектирования и строительства объектов проекта «Северный поток».

2. В области реализации мероприятий в Арктике. Для организации АСО на море в данном районе, определения путей решения проблем навигационно-гидрографического обеспечения с учетом операционной зоны Северного флота, снижения рисков и степени ледовой и айсберговой опасности на Арктическом шельфе разработаны технологии, технические средства и организационные мероприятия в области аварийно-спасательного, навигационно-гидрографического обеспечения и ледового менеджмента (рис. 2).



Рис. 2. Результаты совместных работ в области реализации мероприятий в Арктике

Основными результатами этих работ по данному направлению являются:

- организационно-методические документы – концепции ледового менеджмента и системы управления АСО, планы по поисково-спасательным операциям и рекомендации по оказанию медицинской помощи, маршрутам и режимам плавания с учетом операционной зоны Северного флота;
- оригинальные технические решения по обеспечению безопасности морской добычи и транспортировке углеводородов в ледовых условиях, методам борьбы с айсберговой опасностью, спасению персонала и программные продукты в виде структурированных баз данных по опасностям техногенного происхождения, навигационно-гидрографическим условиям.

3. В области совершенствования нормативной базы при производстве работ в морской акватории. В целях повышения эффективности единой системы безопасности объектов морских нефтегазовых месторождений с учетом требований основных нормативных документов, разработанных международными организациями по вопросам международного морского права, использования воздушного пространства, проектирования путей движения и т.п., были разработаны новые стандарты и уточнены действующие положения нормативных документов по производству работ в морской акватории (рис. 3).



Рис. 3. Результаты совершенствования нормативной базы при производстве работ в морской акватории

В результате выполнения работ в целях совершенствования нормативной базы были разработаны плановые, нормативно-правовые и организационно-технические до-

кументы регулирования деятельности ОАО «Газпром», в том числе документы Системы стандартизации, в области навигационно-гидрографического, аварийно-спасательного и авиационного обеспечения разработки месторождений (Р Газпром по обеспечению безопасности морских изысканий от ОТП, СТО Технические требования к судам АСО, Положение по организации АСО, План НГО и АО ШГКМ, рекомендации по организации предупреждения несанкционированного распространения информации и др.)

4. В области совершенствования технических средств и материально-производственной базы разведки и освоения морских нефтегазовых месторождений. Для повышения эффективности экологической, информационной и антитеррористической безопасности, непрерывной профессиональной подготовки кадров ОАО «Газпром» проведены соответствующие исследования и получены:

- технико-экономические оценки по выбору перспективных маршрутов транспорта углеводородов, размещению ремонтной базы и объектов строительства ОАО «Газпром» с учетом инфраструктуры региона и деятельности сил флотов, созданию центров подготовки капитанов танкеров;
- рекомендации и предложения по экологической и антитеррористической безопасности производственного комплекса, профессиональной подготовке персонала объектов разведки, добычи и транспортировки углеводородов к эвакуации при возникновении аварийной ситуации (рис. 4).



Рис. 4. Результаты совершенствования технических средств и материально-производственной базы разведки и освоения морских нефтегазовых месторождений

Значение результатов совместной деятельности ОАО «Газпром» и ВМФ состоит в том, что они:

- направлены на решение приоритетных научно-технических проблем и важных практических задач ОАО «Газпром» с учетом сферы ведения Минобороны;
- позволяют определять и учитывать специфические особенности обеспечения морской деятельности в условиях возрастания техногенных и природных угроз;
- обеспечивают повышение безопасности деятельности ОАО «Газпром» и эффективности разработки месторождений и добычи углеводородов с учетом инфраструктуры региона и деятельности сил флотов различных министерств.
- определяют роль и место плана как необходимого элемента практической реализации эффективной морской технической политики ОАО «Газпром» по специальным вопросам, что характеризует результативность мероприятий совместной деятельности, а именно:

1. Исходя из сферы ведения Минобороны, на основании взаимодействия с ВМФ обеспечен благоприятный

оперативный режим реализации планов строительства объектов проекта «Северный поток» в бывших опасных от мин районах.

2. С учетом использования базового опыта и практики ВМФ, научно-технического ресурса специализированных учреждений и организаций ВМФ разработаны организационные основы аварийно-спасательного обеспечения морских объектов разведки, добычи и транспортировки углеводородов, ряд специализированных нормативных документов Системы стандартизации ОАО «Газпром» по вопросам безопасности.

3. На основе потенциала технологий «двойного» назначения разработан ряд технологических инноваций, являющихся объектами правовой охраны (ряд оригинальных технических решений в области ледового менеджмента и спасания персонала объектов обустройства морских нефтегазовых месторождений заявлены установленным порядком для получения соответствующих патентов ОАО «Газпром»).

4. С учетом полномочий Минобороны в области безопасности мореплавания организовано взаимодействие с органами и структурами ВМФ для реализации предложений по навигационно-гидрографическому обеспечению приоритетных проектов освоения нефтегазовых месторождений континентального шельфа.

В настоящее время существует целый комплекс вопросов, решение которых может быть обеспечено только при дальнейшей совместной деятельности организаций Минобороны и ОАО «Газпром». В частности, совместная деятельность в рамках соответствующего плана, необходима для:

- решения вопросов возможности использования прибрежно-портовой инфраструктуры ВМФ и инфраструктуры архипелага Новая Земля при освоении Штокмановского газоконденсатного месторождения (ГКМ);
- дальнейшего осуществления мероприятий плана обеспечения безопасности строительства газопровода проекта «Северный поток» в Российском секторе;
- создания условий безопасной реализации планов освоения Штокмановского ГКМ, месторождений полуострова Ямал и примыкающих акваторий, шельфа острова Сахалин в части ликвидации опасностей техногенного происхождения, разработки путей движения и правил плавания танкеров, судов-газовозов и судов обеспечения в операционной зоне Северного и Тихоокеанского флотов;
- подготовки соответствующих материалов и данных для издания отсутствующих морских карт необходимого масштаба, используемых при обеспечении безопасности плавания в заданных районах.

Приведенное обобщение достаточно уникального опыта и результатов, полученных в процессе реализации мероприятий и работ плана совместной деятельности ОАО «Газпром» и ВМФ в области освоения энергетических ресурсов шельфа и повышения безопасности морских нефтегазовых объектов (учитывая объективное положение, которое занимают потенциал и технологии занятых в этой сфере предприятий и организаций Минобороны), представляет безусловный интерес для организации системного решения проблемы обеспечения безопасности нефтегазового комплекса страны.

Полученные результаты, их значение, роль и место плана совместной деятельности, по мнению авторов, существенны и перспективны для дальнейшего практического решения вопросов повышения безопасности морских нефтегазовых объектов. ■

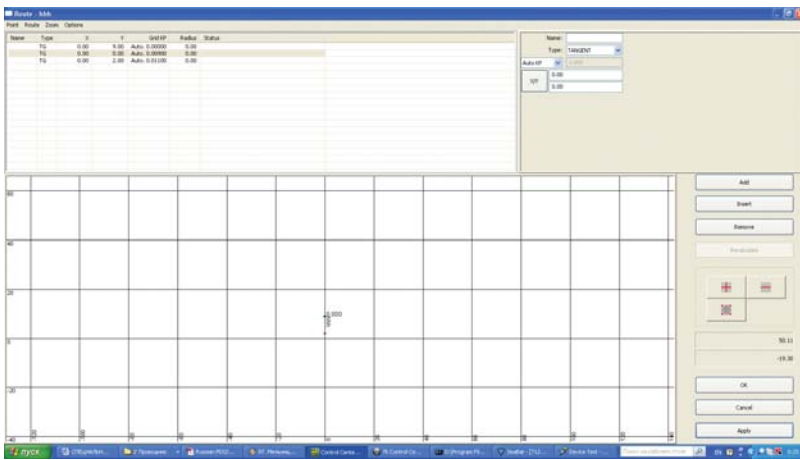


Рис. 3. Окно назначения маршрута движения

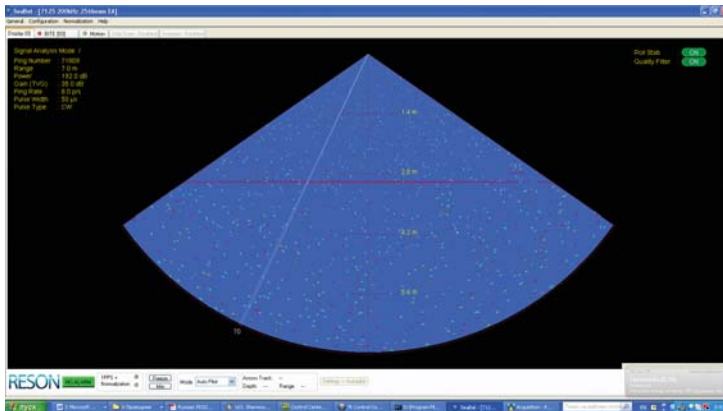


Рис.4. Первичная гидроакустическая информация

На рис. 4 показана развертка первичной гидроакустической информации многолучевого эхолота SeaBat-7125. На данном изображении не виден объем помех, возникающий при лоцировании поверхности морского дна. На рис. 5 в левом нижнем углу показано окно пробега луча при лоцировании, а с правой стороны – информация о маршруте движения судна.

Всего в программном обеспечении PDS2000 доступно 13 фильтров:

- *фильтр на исключение лучей (Beam reject filter)* – оператор может выбрать номера лучей данные от которых не стоит принимать в расчет;
- *фильтр качества луча (Beam quality filter)* – исключаются лучи не соответствующие выбранному уровню качества:
 - качество 1 = плохая коллинеарность и хорошая яркость.
 - качество 2 = хорошая коллинеарность и плохая яркость.
 - качество 3 = хорошая коллинеарность и хорошая яркость.
- *фильтр размаха* – исключаются из расчета лучи вне заданных лимитов размаха;
- *фильтр глубины* – исключаются лучи вне заданных лимитов глубины;
- *фильтр надира угла* – исключаются лучи вне пределов надирных углов;
- *фильтр надира расстояния* – ис-

ключаются лучи, у которых расстояние от надира превышает заданные лимиты расстояния;

- *фильтр уклона* – исключаются лучи, у которых угол уклона превышает заданный угол уклона;
- *фильтр пересечения* – исключаются лучи, у которых угол пересечения меньше, чем заданные параметры угла пересечения;
- *фильтр статистических данных* – исключаются лучи, у которых вычисление статистических данных превышает заданные параметры. Параметры точности задаются от 1 (низш.) до 9 (высш.), где настройка на 1 несёт меньшую точность, чем настройка на 9;
- *интеллектуальный фильтр* – исключаются лучи, находящиеся вне заданных параметров ширины полосы пропускания умного фильтра;
- *фильтр летающего объекта* – исключаются лучи, находящиеся слишком высоко относительно морского дна;
- *фильтр ошибки ИНО* – исключаются лучи со значением погрешности ИНО выше, чем заданные параметры;
- *фильтр погрешности, определённый пользователем (Custom error filter)* – отвергаются лучи со значением общей накапливающейся погрешности по высоте (vertical TPE) выше задан-

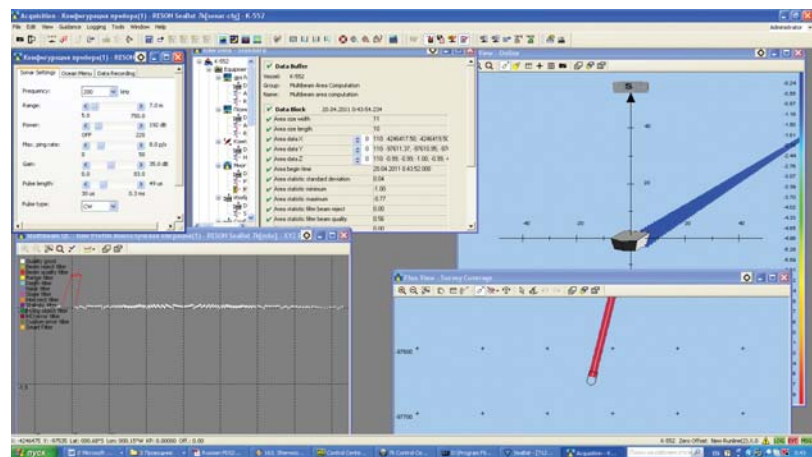


Рис. 5. Полоса промера с правильно подобранными фильтрами

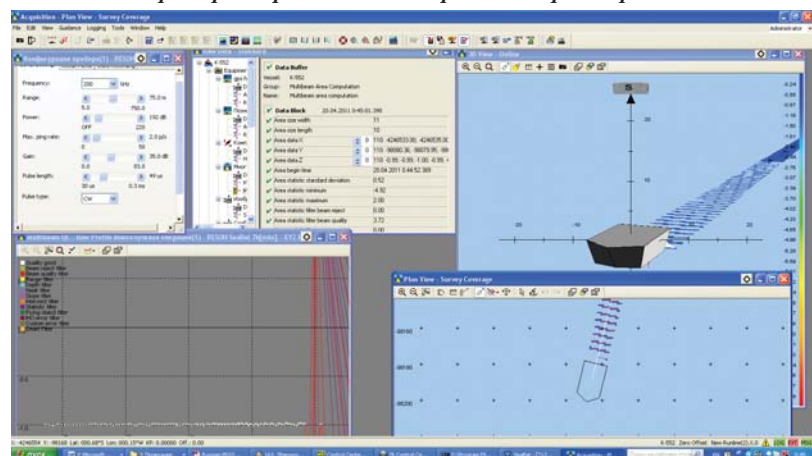


Рис. 6. Полоса промера с неправильно подобранными фильтрами

ных параметров. Пользователь может ввести максимальное значение общей накапливающейся погрешности.

Следует указать, что подбор способа и методов фильтрации зависит, как, впрочем, и сама точность промера, не только от возможностей аппаратных средств, но и от организации промера, и от места, где промер осуществляется – минимизировать огрехи организации промерных работ помогает фильтрация.

3. Проведение съемки начинается с момента включения многолучевого эхолота на излучение и активации кнопки «Real Time» на главной панели управления PDS2000. В ходе промера оператор управляет параметрами работы эхолота, используя либо панель управления PDS2000, либо программное обеспечение 7K Center из комплекта многолучевого эхолота.

Различие в функционале этих двух методов заключается в том, что кроме выбора шкалы работы, длительности импульса, усиления, количества импульсов в единицу времени управление с использованием 7K Center позволяет изменять угол раствора характеристики направленности. Результатом проведенной съемки должен быть записанный Log файл.

4. На этапе обработки результатов редактируются данные промера, в том числе удаляют оставшиеся паразитные лучи, формируется редактируемая площадь для последующей подготовки карты (рис. 7–8).

На рис. 7 показаны разными цветами результаты разных промеров, полоса пересечения полос промерных галсов – содержит наибольшую плотность лучей и, следовательно, обладает большей точностью.

Итогом работы с полученным изображением будет файл в специализированном формате или формате .DXF, пригодном для распечатки на плоттере, с привязкой к географическим координатам – это готовая карта морского дна (рис. 8–10).

ВЫВОДЫ

Комплект специализированного ПО PDS2000 обеспечивает сопровождение полного цикла гидрографических работ.

PDS-2000 может работать с подавляющим большинством существующего ныне оборудования. В настоящее время это программное обеспечение проходит завершающую стадию русификации и адаптирован под отечественного заказчика. ■

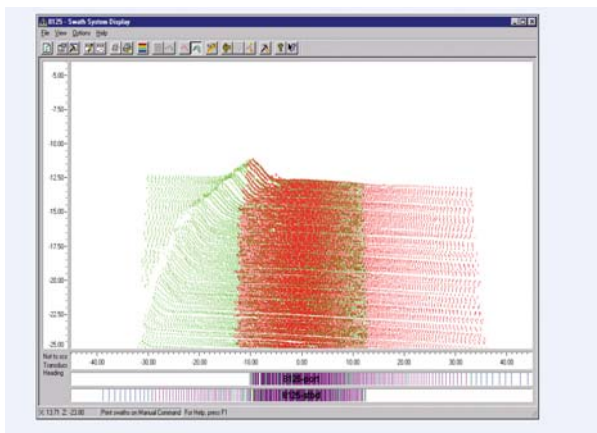


Рис. 7. Неподготовленная к картографированию точечная поверхность

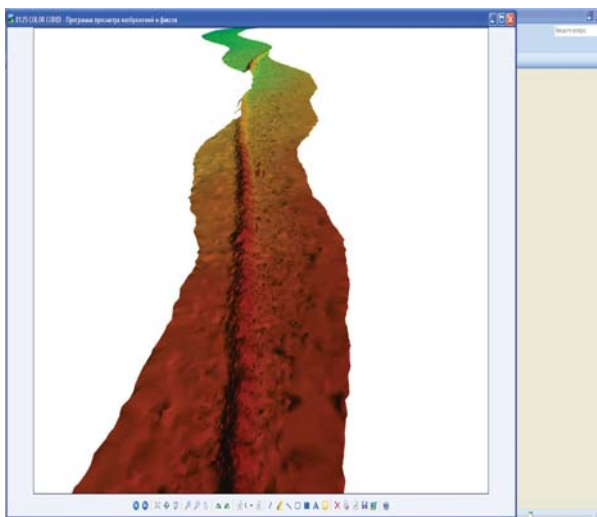


Рис. 8. Подготовленная к картопостроению 3D поверхность

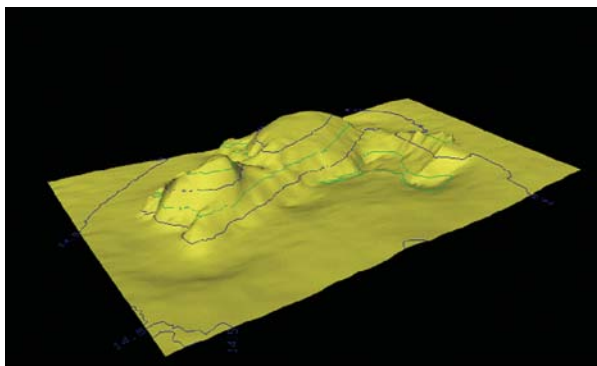


Рис. 9. 3D поверхность с изобатами

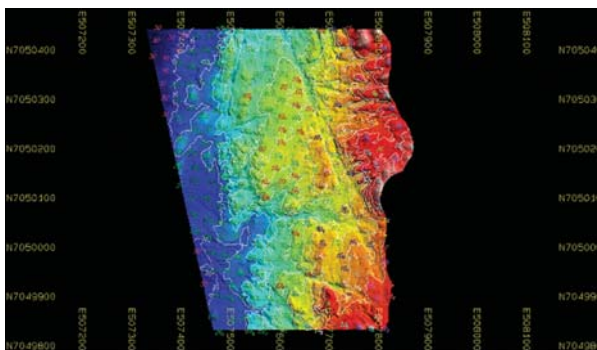


Рис. 10. Поверхность дна со значениями глубин

Как известно, значительная часть судов внутреннего плавания и все суда смешанного река-море плавания (ССП), построенные в советское время, имели двухвальные установки. В то же время практически все рейские речные суда и европейские транспортные суда прибрежного плавания имеют один винт.

Поэтому вопрос о том, какой пропульсивный комплекс (ПК) устанавливать на отечественных ССП нового поколения, до сих пор дискутируется, и на этот счет есть прямо противоположные мнения.

Главным преимуществом ПК с одним винтом является относительно меньшая стоимость главной энергетической установки (ГЭУ), как закупочная и монтажная при строительстве, так и эксплуатационная. Двухвинтовой ПК обеспечивает требуемую для стесненных условий реки маневренность, более надежен [8]. Вопросы пропульсивного коэффициента и экономики судна подлежат изучению.

Для морских судов, когда диаметр винта не ограничен, у одновинтовых судов, как правило, пропульсивный коэффициент выше, чем у двухвальных при одинаковой мощности, что было показано еще в 1936 г. испытаниями, проведенными Ямагато [15].

Обсуждение подобной задачи в мировой практике судостроения не является чем-то новым и необычным. Так, в 1842 г. Британское Адмиралтейство провело натурные испытания двух однотипных пароходов с разными типами двигателей. При счаливании кораблей кормами винтовой корабль стал буксировать колесный со скоростью 2,8 уз, что дало основание сделать вывод о безусловном преимуществе винтового двигателя. При этом не были учтены такие нюансы, как относительно большая осадка и эффективная мощность (в действительности колесные двигатели в условиях опыта приводились в движение фактически в два раза меньшей мощностью, чем винтовой при одинаковой номинальной мощности ГЭУ).

Аналогично решения – один или два винта – «не конкурируют между собой, а рационально дополняют один другого, давая в общей совокупности решение проблемы движения ... с соблюдением всех требований эксплуатационного и экономического характера» [1]. Поэтому следует оценить конкретные условия и конкретный концепт. В качестве такого концепта приняты ССП класса «Волго-Дон макс», которые наиболее востребованы российскими судоходными компаниями [2–4].

Цель статьи – нахождение оптимального состава пропульсивного комплекса для судна класса «Волго-Дон макс» нового поколения, в рамках реальных условий эксплуатации и принятых ранее решений по главным размерениям и дедвейту. Исследование выполнялось в составе научно-исследовательской работы по созданию облика перспективных судов внутреннего и смешанного плавания в рамках ФЦП «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 годы».

В качестве базы для анализа был использован концепт многоцелевого сухогрузного судна смешанного «река-море» плавания «Волго-Дон макс» класса со следующими характеристиками:

Основные характеристики ССП «Волго-Дон макс»

Класс РС	КМ★Ice2 R2 AUT1
Длина наибольшая L_{OL} , м	139,90
Ширина габаритная, м	16,70
Скорость хода при осадке в море V_S , уз	11–12
Дедвейт в море при осадке 4,70 м, т	7100...7200
Дедвейт в реке при осадке 3,60 м, т	4500...4600

ПРОРАБОТКА ВАРИАНТОВ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА СУДНА СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ КЛАССА «ВОЛГО-ДОН МАКС»

Г.В. Егоров, *д-р техн. наук, проф., генеральный директор,*

И.А. Ильницкий, *первый зам. генерального директора,*

ЗАО «Морское инженерное бюро», г. Одесса,

Б.Н. Сташков, *директор,*

А.В. Печенюк, *руководитель отдела, Digital Marine Technology, г. Одесса,*

контакт. тел. +38 (0482) 34 7928

Эксплуатация планируется в морских районах в соответствии с классом и на внутренних водных путях европейской части РФ, включая Волго-Донской судоходный канал и Волго-Балтийский водный путь.

В качестве основного прототипа выбраны обводы, разработанные для сухогрузного судна дедвейтом в море/ в реке около 7000/4600 т проекта RSD19 [4].

Геометрические характеристики корпуса прототипа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические характеристики корпуса прототипа

Характеристика	Величина
Длина по ватерлинии L_{WL} , м	137,760
Ширина по ватерлинии B_{WL} , м	16,500
Проектная осадка T , м	4,600
Радиус скулы R , м	1,000
Абсцисса центра величины l_{CB} , %	0,723
Площадь сечения бульба в плоскости НП h_B , м ²	3,800
Возвышение центра тяжести сечения бульба ∇ , м	2,200
Коэффициент общей полноты C_B	0,902
Коэффициент общей полноты носовой части C_{BF}	0,917
Коэффициент общей полноты кормовой части C_{BA}	0,887
Коэффициент полноты площади ватерлинии C_{WP}	0,965
Коэффициент полноты площади мидель-шпангоута C_M	0,994
Коэффициент продольной полноты	0,907
Отношение длины к ширине L_{WL}/B_{WL}	8,349
Отношение ширины к осадке B_{WL}/T	3,587

При этом следует обратить внимание на отношение длины к ширине, превышающее 8,3, необходимость эксплуатации судна в широком диапазоне осадок (от 2,8 до 4,6 м), соответственно отношение ширины к осадке меняется от 3,5 до 5,9, причем в реке расчетная осадка соответствует отношению $B_{WL}/T = 4,5$ и, наконец, коэффициент общей полноты около 0,90. При таких ограничениях и соотношениях главных размерений значительно уменьшается предельно допустимое гидравлическое сечение судовых двигателей, ухудшаются условия подтекания воды к винтам, остро стоит вопрос об эксплуатационной надежности пропульсивного комплекса, поэтому классических рекомендаций [7, 9] явно недостаточно.

На рис. 1, 2 изображены общий вид, носовая и кормовая оконечности (со скомпонованным винторулевым комплексом) 3D модели прототипа.

Носовая оконечность прототипа – таранно-коническая, кормовая оконечность – транцевая, с неглубокими полутуннелями для размещения двухвального винто-рулевого комплекса с винтами в направляющих насадках диаметром 2,5 м и подвесными балансирующими рулями, со скегом-стабилизатором в ДП. Обводы спроектированы в расчете на батоксное обтекание, которое характерно для судов с главными размерениями «Волго-Дон макс» класса.

По приближенной оценке [1, табл. 17 на стр. 236], пропульсивный коэффициент η_p при $V_s=11$ уз, относительной скорости $V_s/\sqrt{L_{WL}} = 0,94$, $C_p = 0,80$, скоростном факторе $\phi = nV_s/100 = 18$, где n – число оборотов гребного винта в минуту. Для одновального ПК составил $\eta_p = 0,52$, для двухвального – 0,54, при $V_s=12$ уз – $\eta_p = 0,53$ и 0,55 соответственно.

Для C_p свыше 0,80 и для ϕ больше 18 данные в табл. 17 из [1] отсутствуют, однако качественный вывод понятен – КПД двухвальной установки для принятых ограничений выше одновальной.

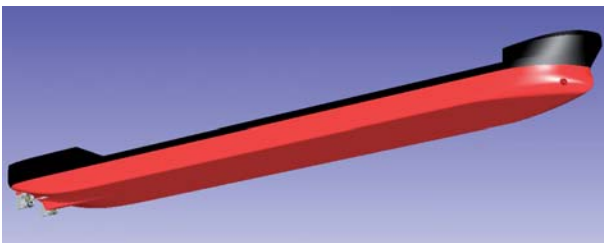


Рис. 1. Общий вид 3D модели корпуса прототипа

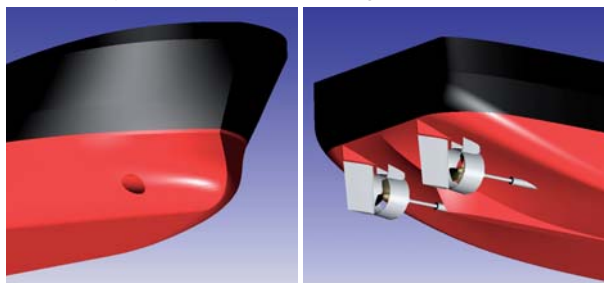


Рис. 2. Носовая и кормовая оконечности 3D модели корпуса прототипа

Рассмотрены следующие варианты ПК:

Вариант А. Двухвальная установка, состоящая из двух среднеоборотных дизелей (СОД) и реверс-редукторов, с работой на открытые винты фиксированного шага (ВФШ). Электростанция комплектуется из трех дизель-генераторов (ДГ), каждый из которых обеспечивает ходовой режим.

Вариант Б. Двухвальная установка, аналогичная варианту А, с двумя ВФШ в направляющих насадках.

Вариант В. Одновальная установка с открытым винтом регулируемого шага (ВРШ). Электростанция комплектуется из двух ДГ и валогенератора (ВГ). ВГ предусматривается только как источник электроэнергии.

Вариант Г. Одновальная установка, аналогичная В, с ВРШ в направляющей насадке.

По результатам проработки для вышеперечисленных вариантов были определены расчетные мощности ГД при заданных скоростях и суточные расходы топлива (тяжелого и дизельного) на ходу в полном грузу в морских условиях.

При этом расчетными скоростями являются 11 и 12 уз; нагрузка судовой электростанции на ходу – 100 кВт; основное топливо для ГД – моторное вязкостью 380 сСт, стоимостью 405 долл. США за тонну; топливо для ДГ – легкое дизельное топливо стоимостью 640 долларов США за тонну (данные по стоимости для порта Санкт-Петербург по состоянию на январь 2011 г. [14]).

В соответствии с общепринятыми правилами проектирования ГЭУ с дизельными двигателями, мощность ГД определена для вариантов А, Б с ВФШ с морским запасом 15%

(проектная винтовая характеристика на 0,85 МДМ* при номинальном числе оборотов); для вариантов В, Г с ВРШ – с морским запасом 10% и запасом на работу ВГ на ходу 100 кВт (проектная винтовая характеристика на 0,90 МДМ с учетом работы ВГ).

При оценке ходовых качеств использованы данные о буксировочном сопротивлении корпуса (для всех вариантов пропульсивного комплекса) и коэффициентах взаимодействия между корпусом и движителями (для вариантов А и Б), полученные при испытаниях модели двухвального судна «Волго-Дон макс» класса проекта RSD19 [5].

Испытания самоходной модели судна проекта RSD19 (рис. 3) проводились в большом опытовом бассейне ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова под руководством проф. Г.И. Каневского.

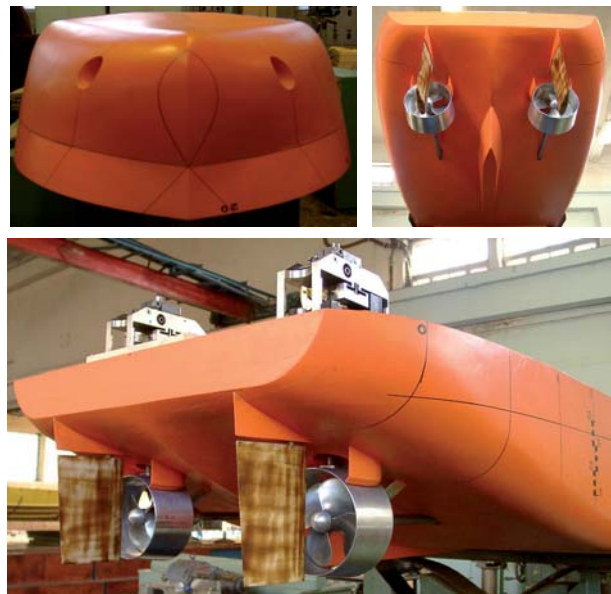


Рис. 3. Самоходная модель судна проекта RSD19, выполненная ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова

На рис. 4 приведены фотографии модели во время буксировочных испытаний модели судна-прототипа при посадках в полный грузу и в балласте.

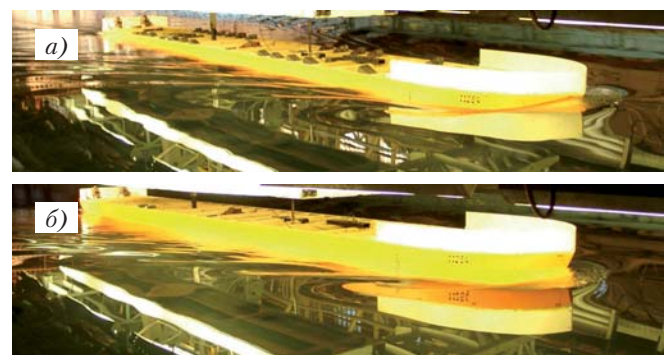


Рис. 4. Буксировочные испытания модели судна проекта RSD19: а – состояние в полном грузу; б – состояние в балласте

Сопоставление результатов эксперимента и численного расчета методами вычислительной гидромеханики с результатами расчета полного сопротивления судна проекта RSD19 методом Холтропа–Меннена [11], который получил большое распространение в практике проектирования, представлены на рис. 5.

Статистический метод, несмотря на тщательно подготовленные данные о геометрических характеристиках корпуса, не позволил получить полное сопротивление судна с достаточной точностью. Использование же чис-

* МДМ – максимальная длительная мощность

ленного моделирования, напротив, обеспечило получение результатов, весьма близких к результатам модельных испытаний.

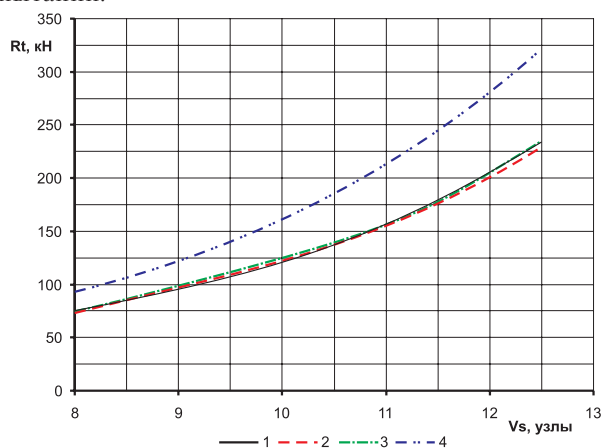


Рис. 5. Сопоставление полного сопротивления судна проекта RSD19

1 – модельный эксперимент; 2, 3 – расчет численными методами гидродинамики; 4 – расчет методом Холтрома–Меннена

Буксировочное сопротивление и мощность прототипа в полном грузу при расчетных скоростях по результатам испытаний в опытовом бассейне представлены в табл. 2.

Таблица 2

Буксировочное сопротивление и мощность прототипа

V_s , уз	11,00	12,00
Число Фруда F_n	0,154	0,168
Число Рейнольдса $Rn \cdot 10^{-8}$	6,549	7,145
Коэффициент остаточного сопротивления $C_R \cdot 10^3$	1,201	1,523
Коэффициент $C_{F0} \cdot 10^3$	1,656	1,638
Коэффициент полного сопротивления $C_T \cdot 10^3$	2,948	3,251
Полное буксировочное сопротивление R_T , кН	156,5	205,4
Буксировочная мощность P_B , кВт	885,4	1267,7

Взаимодействие между корпусом судна и двигателем характеризуют коэффициент эффективного попутного потока W_T , коэффициент влияния неравномерности попутного потока на пропульсивный КПД i и коэффициент засасывания t_p .

Коэффициенты влияния неравномерности попутного потока i в расчетах для всех вариантов на настоящем этапе приняты равными 1,000.

В расчетах по оценке ходовых качеств двухвальных вариантов **А** и **Б** приняты следующие коэффициенты взаимодействия (по данным самоходных модельных испытаний прототипа):

- коэффициент попутного потока $W_T = 0,263$;
- коэффициент засасывания $t_p = 0,241$.

Для одновальных вариантов **В** и **Г** применены другие обводы кормовой оконечности, обеспечивающие примерно те же величины буксировочного сопротивления. На рис. 6 представлено изображение 3D модели кормовой оконечности одновального судна с близкими главными размерениями (со скомпонованным винто-рулевым комплексом).

По данным исследования ходовых качеств одновального прототипа – судна класса «Волго-Дон макс» RSD20 методами вычислительной гидродинамики [5, 12, 13] получено распределение осевой относительной скорости V_A/V номинального попутного потока и векторы скорости в диске винта (представлено на рис. 7).

Коэффициент W_T определялся на базе замеров номинального поля скоростей попутного потока в диске винта путем

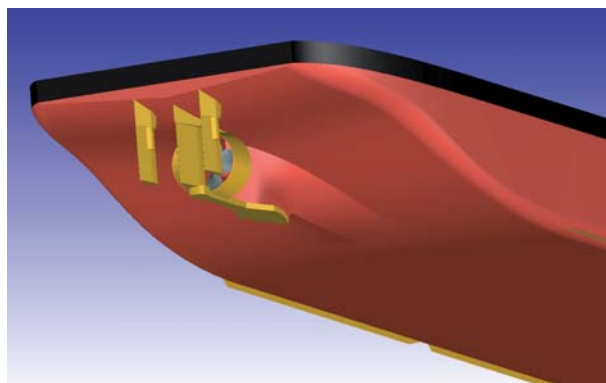


Рис. 6. Кормовая оконечность 3D модели корпуса одновального прототипа

корректировки коэффициента среднего номинального потока по методике Пустошного–Титова [6].

Среднее по площади диска значение коэффициента номинального попутного потока составляет $\psi = 0,330$.

Коэффициент эффективного попутного потока определяется из решения уравнения $W_T = \psi / \sqrt[4]{1 + 2w_{x0}/v_a}$, где $2w_{x0}/v_a = \sqrt{1 + C_{TA}} - 1$, методом последовательных приближений.

Соответственно коэффициент эффективного попутного потока составил $W_T = 0,267$.

Коэффициент засасывания t определен по полученной на основе статистической обработки результатов модельных испытаний зависимости Альте и Баура [10] $(1-t) = (1-w)^{0,8}$.

В расчетах по оценке ходовых качеств одновальных вариантов **В** и **Г** приняты следующие коэффициенты взаимодействия между корпусом и двигателем:

- коэффициент попутного потока $W_T = 0,267$;
- коэффициент засасывания $t_p = 0,220$.

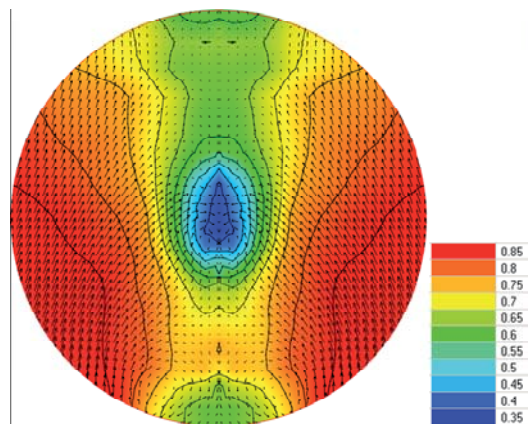


Рис. 7. Распределение осевой составляющей номинального попутного потока и векторы скорости в диске гребного винта

Основные результаты оценки ходовых качеств:

1. **Вариант А.** По результатам выполненной проработки на судне в корпусе прототипа с двухвальным ПК и открытыми ВФШ могут быть установлены винты максимальным диаметром $D_p = 2,8$ м. На судах подобного типа выгодно устанавливать винты максимально возможного диаметра, который ограничен условиями размещения относительно корпуса с достаточными зазорами для снижения вибрации, а также предотвращения подсоса воздуха при ходе в балласте. Для обеспечения управляемости предусмотрено рулевое устройство из двух подвесных балансирных рулей, установленных за винтами. Эскиз компоновки движительно-рулевого комплекса (ДРК) представлен на рис. 8.

Результаты предварительного расчета ходовых качеств и затрат на топливо судна с ПК по варианту А представлены в табл. 3.

Согласно данным табл. 3, для достижения скоростей хода в полном грузу 11-12 уз. требуется установить 2 ГД номинальной мощностью по 932–1316 кВт; суточные затраты на топливо ГД и работу ДГ на полном ходу составляют 3154–4487 долл. США.

На рис. 8 показан ГД номинальной мощностью 1200 кВт с соответствующим редуктором и валопроводом.

2. Вариант Б. По результатам выполненной проработки на судне в корпусе прототипа с двухвальным ПК и ВФШ в направляющих насадках могут быть установлены винты максимальным диаметром $D_p = 2,5$ м. Для обеспечения управляемости предусмотрено рулевое устройство из двух подвесных балансирных рулей, установленных за винтами. Эскиз компоновки движительно-рулевого комплекса (ДРК) представлен на рис. 9.

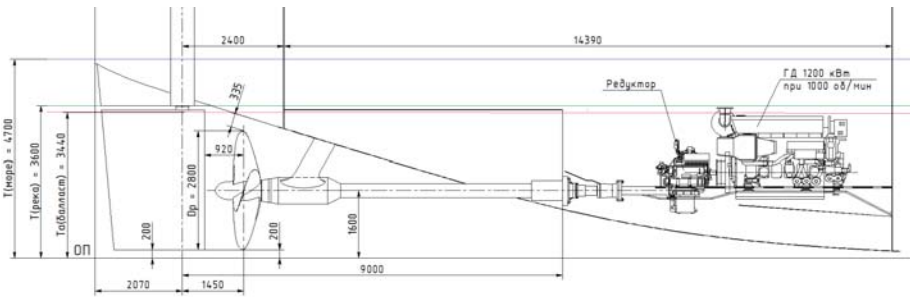


Рис. 8. Эскиз компоновки ДРК варианта А (с двумя открытыми ВФШ)

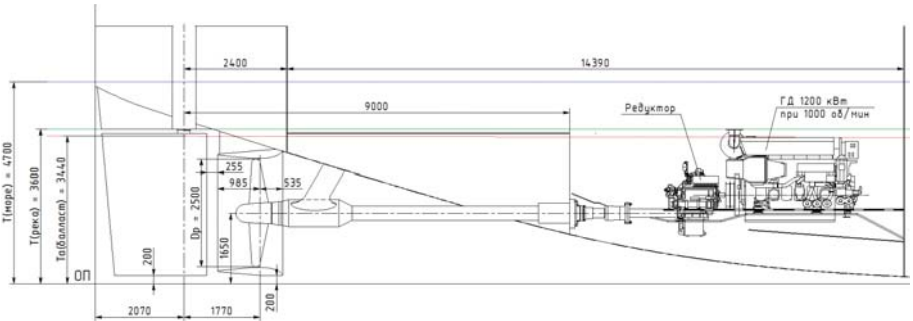


Рис. 9. Эскиз компоновки ДРК варианта Б (с двумя ВФШ в насадках)

Таблица 3

Расчет ходовых качеств и затрат на топливо

№ п.п.	Характеристика	Вариант А		Вариант Б		Вариант В		Вариант Г	
		Расчетные точки		Расчетные точки		Расчетные точки		Расчетные точки	
		I	II	I	II	I	II	I	II
1	Скорость V_c уз.	11	12	11	12	11	12	11	12
2	Полное буксировочное сопротивление R_p , кН	156,5	205,4	156,5	205,4	156,5	205,4	156,5	205,4
3	Коэффициент эффективного попутного потока W_T	0,263	0,263	0,263	0,263	0,267	0,267	0,267	0,267
4	Коэффициент засасывания t_p	0,241	0,241	0,241	0,241	0,220	0,220	0,220	0,220
5	Скорость гребного винта в свободной воде V_A , м/с	4,173	4,552	4,173	4,552	4,150	4,527	4,150	4,527
6	Упор гребного винта T , кН	103,1	135,3	103,1	135,3	200,6	263,3	200,6	263,3
7	Обратный коэффициент нагрузки движителя по упору при постоянном диаметре K_{DT}	1,165	1,109	1,040	0,991	0,949	0,904	0,860	0,819
8	Относительная поступь гребного винта J	0,495	0,471	0,588	0,562	0,441	0,423	0,459	0,441
9	Число оборотов гребного винта n , об/мин	181	207	170	194	176	201	187	212
10	Шаговое отношение винта P/D_p	0,815	0,794	1,291	1,273	0,795	0,788	1,108	1,112
11	Коэффициент упора гребного винта K_T	0,1805	0,1803	0,3195	0,3219	0,2159	0,2190	0,2847	0,2898
12	Коэффициент момента гребного винта K_Q	0,0251	0,0245	0,0493	0,0487	0,0313	0,0315	0,0416	0,0412
13	Коэффициент полезного действия гребного винта в свободной воде η_0	0,566	0,552	0,607	0,591	0,484	0,467	0,500	0,494
14	Коэффициент полезного действия передачи мощности от главного двигателя на гребной винт (редуктор и валопровод), η_c	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960
15	Пропульсивный коэффициент η_p	0,559	0,546	0,600	0,585	0,494	0,478	0,511	0,504
16	Эффективная мощность $N_E = 0,85$ МДМ, кВт (для одного ГД)	792	1162	739	1085	-	-	-	-
	Эффективная мощность $N_E = 0,90$ МДМ – N_{BR} , кВт	-	-	-	-	1793	2657	1735	2515
17	Нагрузка ВГ на ходу, N_{BR} , кВт	-	-	-	-	100	100	100	100
18	МДМ одного ГД, $N_{ГД}$, кВт	932	1367	869	1277	2103	3063	2039	-
19	Удельный расход топлива ГД, $g_{ГД}$, г/кВтч	185	185	185	185	185	185	185	185
20	Суточный расход топлива ГЭУ, $G_{ГД}$, т/сут	7,03	10,32	6,56	9,64	7,96	11,80	7,70	11,17
21	Стоимость 1 т топлива ГД, $K_{ГД}$, USD/т	405	405	405	405	405	405	405	405
22	Суточные затраты на топливо ГД, $C_{ГД}$, USD/сут	2847	4180	2657	3904	3224	4779	3119	4524
23	Нагрузка ДГ на ходу, $N_{ДГ}$, кВт	100	100	100	100	-	-	-	-
24	Удельный расход топлива ДГ, $g_{ДГ}$, г/кВтч	200	200	200	200	-	-	-	-
25	Суточный расход топлива ДГ, $G_{ДГ}$, т/сут	0,48	0,48	0,48	0,48	-	-	-	-
26	Стоимость 1 т топлива ДГ, $K_{ДГ}$, USD/т	640	640	640	640	-	-	-	-
27	Суточные затраты на топливо ДГ, $C_{ДГ}$, USD/сут	307	307	307	307	-	-	-	-
28	Суточные затраты на топливо, C , USD/сут	3154	4487	2964	4211	3224	4779	3119	4524

Характеристики оптимального винта для вариантов:
Вариант А – диаметр гребного винта $D_p = 2,8$ м, дисковое отношение гребного винта $A_E/A_0 = 0,55$, число лопастей $z = 4$; **Вариант Б** – направляющая насадка с $D_p = 2,5$ м, $A_E/A_0 = 0,58$, $z = 4$; **Вариант В** – $D_p = 3,2$ м, $A_E/A_0 = 0,70$, $z = 4$; **Вариант Г** – $D_p = 2,9$ м, $A_E/A_0 = 0,70$, $z = 4$.

Результаты предварительного расчета ходовых качеств и затрат на топливо судна с ПК по варианту **Б** представлены в табл. 3.

Согласно данным таблицы 3, для достижения скоростей хода в полном грузу 11–12 уз. требуется установить 2 ГД номинальной мощностью по 869–1277 кВт; суточные затраты на топливо ГД и работу ДГ на ходу составляют 2964–4211 долларов США.

На рис. 9 показан ГД номинальной мощностью 1200 кВт с соответствующим редуктором и валолинией.

3. Вариант В. По результатам выполненной проработки на проектируемом судне при одновальном ПК и открытом ВРШ может быть установлен винт максимальным диаметром $D_p = 3,2$ м. Размер ВРШ диктуется главным образом балластной осадкой в корме, которая по оценкам составляет около 3,4 м. Для обеспечения хорошей управляемости в речных условиях могут быть применены рулевые устройства специального типа, среди которых наиболее подходящими в данном случае представляются: руль Бэккера (с изменяемой в процессе перекаладки геометрии профилем) и система рулей Енкеля. Пример системы Енкеля из трех рулей, которая успешно применена на судне близкого типа, можно видеть на рис. 6. Эскиз компоновки движительно-рулевого комплекса (ДРК) представлен на рис. 10.

Результаты предварительного расчета ходовых качеств и затрат на топливо судна с ПК по варианту **В** представлены в табл. 3.

Согласно данным табл. 3, для достижения скоростей хода в полном грузу 11–12 уз. требуется установить ГД номинальной мощностью 2103–3063 кВт; суточные затраты на топливо ГД, включая работу ВГ на ходу, составляют 3224–4779 долларов США.

На рис. 10 показан ГД номинальной мощностью 2640 кВт с соответствующим редуктором и валолинией.

4. Вариант Г. По результатам выполненной проработки на проектируемом судне при одновальном ПК и ВРШ в направляющей насадке может быть установлен винт максимальным диаметром $D_p = 2,9$ м. Обоснование размера винта и рулевого устройства для данного варианта полностью аналогично варианту **В**. Эскиз компоновки движительно-рулевого комплекса (ДРК) представлен на рис. 11.

Результаты предварительного расчета ходовых качеств и затрат на топливо судна с ПК по варианту **Г** представлены в табл. 3.

Согласно данным табл. 3, для достижения скоростей хода в полном грузу 11–12 уз. требуется установить ГД номинальной мощностью 2039–2906 кВт; суточные затраты на топливо ГД, включая работу ВГ на ходу, составляют 3119–4524 долларов США.

На рис. 11 показан ГД номинальной мощностью 2640 кВт с соответствующим редуктором и валолинией.

Для наглядного отображения сравнительной топливной эффективности всех вариантов ПК основные результаты расчетов сведены в табл. 4 и 5. В таблицах для всех вариантов представлена пропульсивная мощность N_E (т.е. расходуемая на движение) и сумма денежных издержек на топливо C за сутки ходового времени.

Как видно из табл. 4 и 5, наиболее выгодным с точки зрения топливной эффективности является вариант **Б**

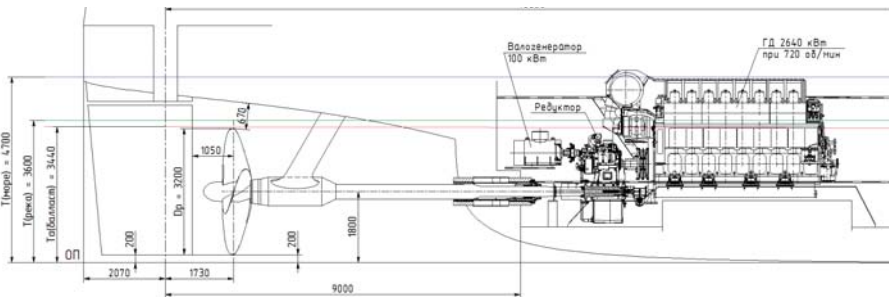


Рис. 10. Эскиз компоновки ДРК варианта В (с одним открытым ВРШ)

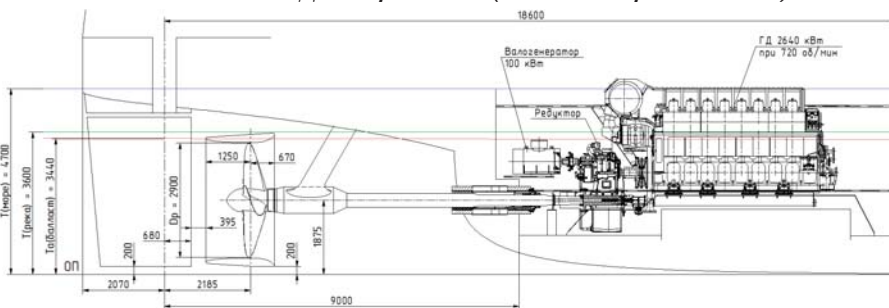


Рис. 11. Эскиз компоновки ДРК варианта Г (с одним ВРШ в насадке)

– судно с двухвальным ПК с ВФШ в направляющих насадках. Вариант **Б** требует для достижения скоростей 11 и 12 уз наименьших затрат мощности ГД. Этот выигрыш компенсируется за счет применения ВГ в одновальных вариантах **В** и **Г**, хотя в процентном отношении их отставание в эффективности за счет ВГ несколько уменьшается.

Также следует отметить, что варианты с винтами в направляющих насадках **Б** и **Г** показали значительное превосходство над, соответственно, вариантами **А** и **В** с открытыми винтами. Это объясняется особенностями работы тяжело нагруженных гребных винтов на судах рассмат-

Таблица 4
Показатели топливной эффективности при $V_s = 11$ уз

Характеристика	Вариант А (2 ВФШ)	Вариант Б (2 ВФШ в НН)	Вариант В (1 ВРШ)	Вариант Г (1 ВРШ в НН)
Эффективная мощность N_E , кВт	$2 \times 792 = 1584$	$2 \times 739 = 1478$	1793	1735
Относительная эффективная мощность N_E , %	107,2	100,0	121,3	117,4
Затраты на топливо в течение суток ходового времени C , USD/сут	3154	2964	3224	3119
Относительные затраты на топливо в течение суток ходового времени C , %	106,4	100,0	108,8	105,2

Таблица 5
Показатели топливной эффективности при $V_s = 12$ уз

Характеристика	Вариант А (2 ВФШ)	Вариант Б (2 ВФШ в НН)	Вариант В (1 ВРШ)	Вариант Г (1 ВРШ в НН)
Эффективная мощность N_E , кВт	$2 \times 1162 = 2324$	$2 \times 1085 = 2170$	2657	2515
Относительная эффективная мощность N_E , %	107,1	100,0	122,4	115,9
Затраты на топливо в течение суток ходового времени C , USD/сут	4487	4211	4779	4524
Относительные затраты на топливо в течение суток ходового времени C , %	106,6	100,0	113,5	107,4

риваемого типа. Совокупное применение ВРШ в направляющей насадке и ВГ позволяет варианту Г по топливной эффективности занимать второе место при скорости 11 уз и третье – при 12 уз. В целом, учитывая уровень точности расчетов на настоящем этапе, можно считать, что варианты Г и А по топливной эффективности равноценны.

Качественный анализ результатов выполненной проработки свидетельствует о том, что наибольшее влияние на топливную эффективность проектируемого судна оказывает тип движителя, а в рамках одного типа – площадь живого сечения $A_0 = \pi D_p^2 / 4$, от которой зависит степень нагрузки. Так, величина A_0 при переходе от двухвального варианта Б к одновальному варианту Г уменьшается от 9,81 до 6,60 м² (на 32,7%), при этом пропульсивная мощность при 11 уз возрастает с 1478 до 1735 кВт (на 17,4%). Аналогичная закономерность наблюдается и при скорости 12 уз, а также для вариантов А и В с открытыми гребными винтами. По этой причине для повышения топливной эффективности рекомендуется применять в проекте рассматриваемого судна винты в насадках, а также выполнить проектные работы, направленные на увеличение диаметра гребного винта, независимо от того, какой вариант пропульсивного комплекса будет выбран.

Для судна данного типа основная сложность установки винтов повышенного диаметра связана с необходимостью исключить подсос воздуха при ходе в балласте. Увеличение размеров винтов сверх величин, представленных в настоящем исследовании, требует разработки специальных туннельных обводов кормовой оконечности.

Отметим, что увеличение диаметра гребного винта, при наличии технической возможности обычно экономически оправданно мерой с учетом увеличения массы винта и стоимости, так как снижение затрат на топливо происходит с увеличением диаметра гораздо интенсивнее, чем рост стоимости изготовления винта. Для иллюстрации этого на рис. 12 приведены результаты оценки сроков окупаемости повышения диаметра винта свыше $D_p = 2,5$ м, выполненные для наиболее эффективного по топливу варианта Б. Как видно из рис. 12, с увеличением диаметра винта срок окупаемости снижается.

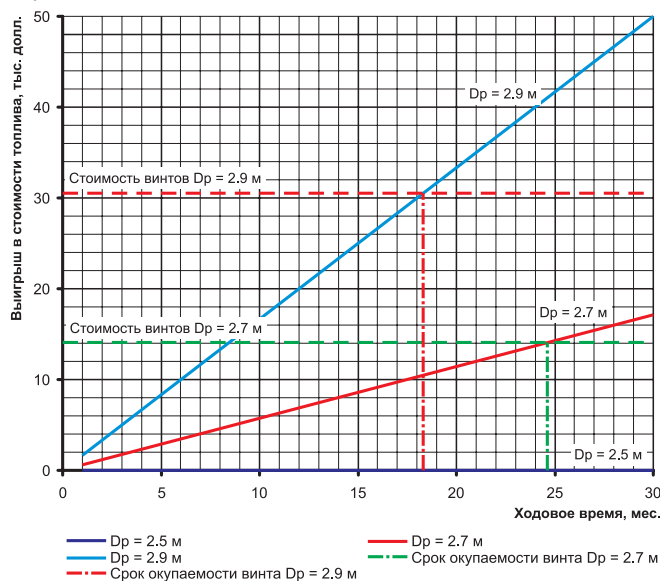


Рис. 12. Оценка сроков окупаемости увеличения диаметра винтов (вариант Б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований:

выполнены оценки расчетных значений суточного расхода топлива главными двигателями (ГД) судна смешанного плавания класса «Волго-Дон макс» в полном грузу в морских условиях для разных вариантов пропульсивной установки;

составлены рекомендации по проектированию обводов корпуса судна «Волго-Дон макс» класса и комплектации пропульсивной установки.

Для исследуемого концепта наилучшим с позиций топливной эффективности является вариант двухвального пропульсивного комплекса с гребными винтами фиксированного шага в направляющих насадках, при этом потребная мощность главных двигателей с учетом 15% морского запаса составляет при скорости 11 уз 869×2 кВт и при скорости 12 уз – 1277×2 кВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алферьев М.Я. Судовые движители. – М.: Изд. Минречфлота СССР, 1947. – 662 с.
2. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
3. Егоров Г.В. Выбор главных элементов сухогрузных и нефтеналивных судов смешанного «река-море» плавания // Судостроение. – 2004. – № 6. – С. 10–16.
4. Егоров Г.В., Ильницкий И.А. Многоцелевые сухогрузные суда типа «Хазар» дедевейтом 7000 т для Каспийского моря // Судостроение. – 2008. – № 3. – С. 15–22.
5. Егоров Г.В., Станков Б.Н., Печенюк А.В. Опыт использования CFD-моделирования при проектировании пропульсивного комплекса судна // Сб. научн. тр. НУК. – Николаев: Изд. НУК, 2007. – № 2. – С. 3–11.
6. Пустошный А.Ф., Титов И.А. Некоторые особенности взаимодействия гребного винта с корпусом // Гидродинамика транспортных судов. – Л.: ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова, 1980. – С. 9–13.
7. Справочник по теории корабля: В трех томах. – Том 1: Гидромеханика. Сопротивление движению судов: Судовые движители / Под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 768 с.
8. Татаренков В.И. История судовых средств движения. – СПб: Галлея Принт, 2006. – 200 с.
9. Турбал В.К., Шпаков В.С., Штумпф В.М. Проектирование обводов и движителей морских транспортных судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 304 с.
10. Alte R., Baur M.V. Propulsion. Handbuch der Werften // Hansa, 1986. – Vol. XVIII. – S. 132.
11. Holtrop J., Mennen G.G.J. An Approximate Power Prediction Method // International Shipbuilding Progress. – 1982. – Vol. 29. – S. 166–170.
12. Larsson L., Raven H.C. Ship Resistance and Flow. – New Jersey, SNAME, 2010. – 230 p.
13. Schneekluth H., Bertram V. Ship Design for Efficiency and Economy. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998. – 220 p.
14. Woodyard Doug. Bunker bulletin // Marine Propulsion. – December 2010 / January 2011. – P. 80.
15. Yamagata M. Comparison of the propulsive performances of single and twine-screw cargo liners / Papers of the 3rd Engineering Congress. Summary in Shipbuilding and Shipping Records. – Tokyo, 1936. – P. 799. ■

ОБЗОР МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ЗУБЧАТЫХ МЕХАНИЗМОВ

С.О. Барышников, проф., ректор,
А.Н. Иванов, канд. техн. наук, доцент, СПбГУВК,
контакт. тел. (812) 251 1221, 8 921 921 5956

В данном обзоре мы рассмотрели условные идеи описания структуры зубчатых механизмов, не претендуя на полноту анализа проблемы. Различные методы проиллюстрированы на схеме планетарной передачи, содержащей два последовательно соединенных однорядных планетарных механизма (рис. 1), где буквой А помечено входное звено, а буквой В – выходное.

Богатый опыт, накопленный советской школой в области рычажных механизмов, позволил проф. М.В.Семенову [1] предложить использовать для описания структуры зубчатых механизмов идею заменяющих механизмов. На рис. 2 показаны заменяющие схемы передач, показанных на рис. 1, полученные заменой каждой высшей пары звеном, входящим в две вращательные кинематические пары. Такое звено на рис. 2 условно изображено полужирной линией. Как видно, при заданной группе начальных звеньев для заменяющего механизма (рис. 2, а) наиболее сложной группой является двухповодковая группа II класса второго порядка (по классификации Ассура–Артоболевского), а для другой схемы (рис. 2, б) трехповодковая группа III класса. Таким образом, при использовании метода заменяющих механизмов рассмотренные передачи (см. рис. 1) имеют различное строение, а значит, и различные методы исследования, хотя относятся к одной разновидности планетарных передач. Следует также отметить сложность структуры заменяющих механизмов для исследования свойств планетарной передачи, содержащей всего два последовательно соединенных механизма типа $2k-h$ (по классификации В.Н. Кудрявцева). Ввиду отмеченных особенностей данное предложение не получило развития и применения в практике проектирования передачи.

Следующим этапом развития структуры планетарных механизмов является представление их как совокупности более крупных частей, а именно: как совокупности простейших планетарных механизмов, связанных между собой путем жесткого соединения основных (соосных) звеньев. Простейшими они названы потому, что, в свою очередь, уже не могут быть образованы способом жесткого соединения основных звеньев.

Основным называют звено, образующее со стойкой вращательную кинематическую пару. В частности, по числу основных звеньев механизмы Π_1 и Π_2 на рис. 1 называют трехзвенными планетарными механизмами.

Для планетарных механизмов, конструируемых на базе нескольких трехзвенных механизмов, Н.И. Струковым были использованы условные схемы, заменяющие кинематические схемы. Крат-

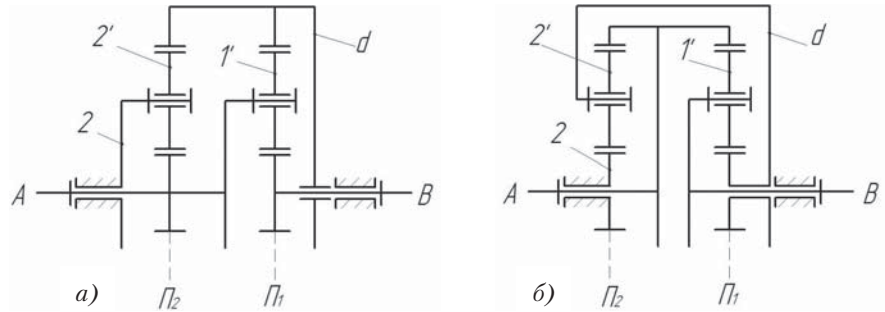


Рис. 1

кое изложение методики Н.И. Струкова дано проф. Н.И.Колчиным [2].

Н.И.Струков предложил схемы, в которых каждому основному звену планетарного механизма соответствует точка, а каждой связи между ними – отрезок. Причем отрезок, расположенный вертикально, обозначает зубчатое зацепление, а любой другой – жесткое соединение основных звеньев. Так, например, графическое изображение планетарной передачи (рис. 1, а) в условной схеме будет выглядеть, как и показано на рис. 3, а, где нижней точке соответствует солнечная шестерня, средней точке – водило, а верхней – эпицикл. Здесь под водилом понимается основное звено, в котором закреплены оси сателлитов (корпусная деталь, ведет сателлиты); зубчатые ко-

леса, оси которых совпадают с осью водила, называют центральными колесами, причем центральное колесо с внешними зубьями называют солнечным, а зубчатое колесо с внутренними зубьями эпициклическим (для краткости – эпицикл); сателлит–зубчатое колесо с переменяющейся в пространстве осью. При получении сложных планетарных передач Н.И. Струков использовал метод постановки механизма на другие звенья (метод инверсии). Так, если в планетарной передаче (рис. 1, а) освободить неподвижное звено и считать все звенья подвижными, то будем иметь дело с кинематической цепью. В такой цепи можно любое звено закрепить, т.е. связать его со стойкой, и получить новый механизм. Отметим, что возможность

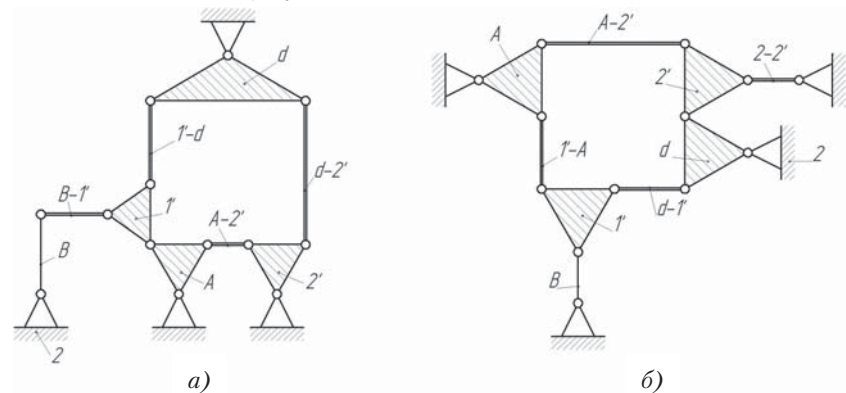


Рис. 2

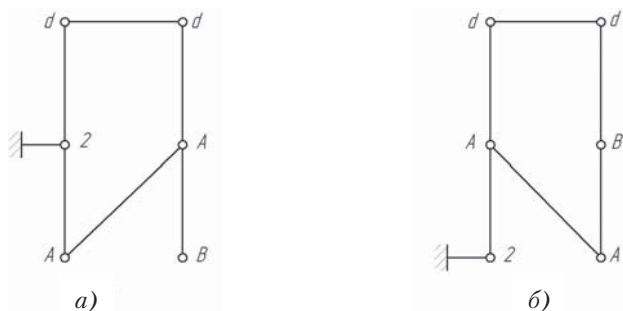


Рис. 3

образования механизмов путем постановки его на разные звенья была указана еще в 1875 г. Ф.Рело. Применительно к простым планетарным передачам способ инверсии находит отражение в работах В.Н. Кудрявцева и Н.Ф.Руденко [3, 4].

Для планетарных передач, составленных из двух планетарных механизмов, Н. И. Струков получает 12 условных кинематических цепей. Из них путем поочередного закрепления звеньев получает 36 передач. Из 12 цепей после подсоединения двумя основными звеньями следующего планетарного механизма получает 296 цепей, из которых методом инверсий – 1830 передач.

Богатые множества, среди которых много изосхем [5, 6], вызывают большие трудности при исследовании передач.

Второй особенностью данного представления является следующее. Известно, что два или несколько звеньев трехзвенных механизмов, жестко соединенных между собой, образуют одно звено передачи. Поскольку в условной схеме точка поставлена в соответствие звену трехзвенного механизма, а не звену сложной передачи, последнее отображается на схеме системой точек, соединенных между собой неперпендикулярными линиями. Это второй недостаток представления, принятого для упрощения исследования свойств сложной планетарной передачи. Данный недостаток устранен в работе [7].

В.П. Черенин, исследуя вопросы, связанные со строением планетарных передач, ввел в рассмотрение символические изображения [7], которые отличаются от условных схем. В них точка поставлена в соответствие основному звену передачи, а не звену трехзвенного механизма. Каждому зацеплению поставлен в соответствие отрезок, соединяющий точки, соответствующие двум звеньям, образующим это зацепление. Очевидно, что как представление Н.И.Струкова, так и В.П. Черенина является графом, в котором точки называются вершинами, а отрезки – ребрами. Символическое изображение кинематической цепи, полученной освобождением неподвижного звена 2 планетарной передачи по рис. 1, а показано на рис. 4, а. Представления [7] упрощают процесс образования структур, так как позволяют рассматривать меньшее количество вариантов по сравнению с методикой Н.И. Струкова. Процесс образования структур сопровождается проверкой специальных (структурных) условий, исключающих получение неинтересных структур зубчатых механизмов.

Ю.Н.Кирдяшев в изучение планетарных передач ввел общие схемы [5]. Представление планетарной передачи (рис. 1, а) в виде общей (в дальнейшем структурной) схемы приведено на рис. 4, б. В нем прямоугольником изобра-

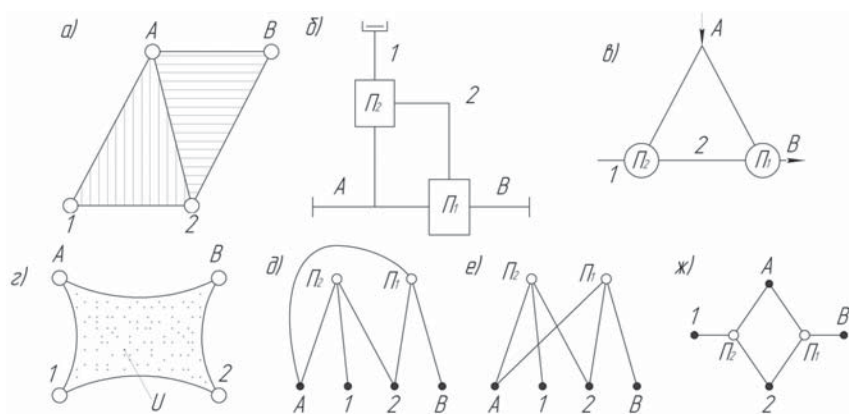


Рис. 4

жен планетарный механизм, а основное звено – отрезком прямой линии. Если в структурной схеме обозначения трех звеньев одного планетарного механизма переименовать на обозначения центральных колес и водила, то получим $3! = 6$ кинематических схем.

Очевидно, общее число σ схем, полученное на основе одной структурной схемы, определится как число размещений с повторением из числа λ схем в одном планетарном механизме по числу k таких схем механизмов в данной передаче, т.е. $\sigma(k, \lambda) = \lambda^k$.

В рассматриваемом случае, когда $\lambda = 6, k = 2$, имеем $\sigma(k, \lambda) = 6^2 = 36$.

В работах [5, 7, 9] показано, что кинематические, силовые и энергетические свойства планетарных передач могут быть выявлены исследованием лишь структурной схемы передачи. В этой связи интересно отметить, что вместо 648 кинематических схем, которые Н.И.Струков исследовал в своей докторской диссертации, достаточно было исследовать лишь три структурные схемы:

$$\tau = 648 / \sigma = 648 / 6^3 = 3.$$

В работе [5] получены структурная формула и другие аналитические зависимости, устанавливающие количественные соотношения в структурах.

В теории силового потока, предложенной А.С.Антоновым, работа любой передающей энергию системы (механической, гидромеханической и электро-механической) расчленяется на два явления: передачу энергии и ее преобразование в узловых точках. Эти точки соединены между собой связующими потоками, где энергия только передается (рис. 4, в). Приложению идей силового потока к образованию схем сложных передач посвящена работа Е.И.Магидовича [8], который изложил решение задачи образования схем силового потока из четырех групп силовых точек путем различного их сочетания. Однако полнота решения при таком подходе не доказана.

В исследуемом аспекте работы [5, 8] можно рассматривать как развитие оче-

дественных исследований в области зубчатых механизмов, начало которым было положено в работах М.А. Крейнса и М.К. Кристи.

В работе [9] для представления структуры используется формула строения, которая показывает, из скольких трехзвенных механизмов состоит передача и какие ее звенья соединены друг с другом. Например, тот факт, что трехзвенный механизм Π_1 (см. рис. 1, а) имеет своими основными звеньями три сложных звена А, В и 2, обозначается символом АВ2. Ясно, что планетарные передачи по рис. 1 обозначаются следующим образом:

$$\left. \begin{array}{l} \text{AB2} \\ \text{A21} \end{array} \right\}$$

Подобное представление структуры отличается своей простотой, но приводит к потере наглядности и лишает возможности использования структурной схемы при изучении свойств планетарных передач. Ввиду этих соображений и были введены в рассмотрение общие схемы [5] и схемы силового потока [8].

В работе [10], в отличие от работ Н.И. Струкова и В.П. Черенина, ребрами отображаются механизмы, которые могут быть и составными (блоками), а звенья сложной передачи – вершинами. Такая модель в теории графов [11] называется гиперграфом. Другими словами в исследованиях Ю.А. Сушкова используется гиперграф $H = (X^n, U)$, где X^n – множество вершин, совпадающее со множеством звеньев механизма; U – множество ребер, в котором каждое ребро соответствует составной части. Для механизма, показанного на рис. 1, пример наглядного изображения гиперграфа приведен на рис. 4, 2. Любой конечный гиперграф может быть однозначно задан матрицей, например, матрицей инцидентности. Будем говорить, что вершина α и ребро i инцидентны друг другу, если вершина α входит в ребро i . Теперь построим матрицу инцидентности $b[U, X]$, в которой

$$b[i, \alpha] = \begin{cases} 1, & \text{если } \alpha \text{ и } i \text{ инцидентны;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Например, если $X = 1: 4$ и семейство ребер гиперграфа состоит из одного ребра $U = [1, 2, 3, 4]$, то его геометрическое

представление имеет вид, показанный на рис. 4, 2, а матрица инцидентий имеет вид

$$b[1,1:4] = U \begin{vmatrix} 1234 \\ 1111 \end{vmatrix}.$$

Как видно из рис. 4, 2, отличительной чертой гиперграфа является то, что его ребра могут объединять не две вершины, а их произвольное число. Поэтому гиперграф является обобщением понятия неориентированного графа. Однако теория обычных графов более развита, чем теория гиперграфов, и на этом основании не следует избегать возможности опираться на более мощный фундамент [11].

В работе [12] для представления структуры зубчатых механизмов используется двудольный граф. В нем в вершины отображаются как звенья сложной передачи, так и сами трехзвенные механизмы. На рис. 4, д показан двудольный граф, соответствующий передаче по рис. 1. Обозначается двудольный (бихроматический) граф $G = (X^n, X^m, U)$, причем $X^n \cup X^m = X$, а $X^n \cap X^m = \emptyset$, а ребра U соединяют только подмножества X^n и X^m между собой. На схеме по рис. 4, д светлым кружком отмечены вершины, отображающие трехзвенные механизмы Π_1 и Π_2 по рис. 1 из множества X^m (вершины – механизмы), а зачерненными кружками отмечены вершины – звенья из множества X^n . Матрица инцидентий, соответствующая передаче по рис. 1 имеет вид

$$\begin{vmatrix} & \Pi_1 & \Pi_2 \\ \text{В} & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 1 \\ \text{А} & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Следует отметить, что двудольный граф можно произвольно укладывать на плоскости. Так на рис. 4, д – ж приведены три различных представления на плоскости одного и того же графа. Подобные представления нашли отражение и в зарубежной литературе. Так, например, в работе [13] зубчатое зацепление изображается так, как это показано на рис. 5, а, б, т.е. звено изображается в точку (светлый кружок), а зубчатое зацепление ребром. Стрелка указывает направление от ведущего звена к ведомым. Очевидна близость такого представления к графам В.П. Черенина.

В работах [14, 15] планетарные механизмы изображаются так же, как и в структурных схемах работ [5, 12] с той лишь разницей, что прямоугольник изображен кружком. Заметим, что каждое представление является собой топологический объект, определяющий методы синтеза и анализа. Не случайно, что работы [14, 15] близки по своей сути к работам [5, 12].

Представление механизма двудольным графом применимо и к рычажным

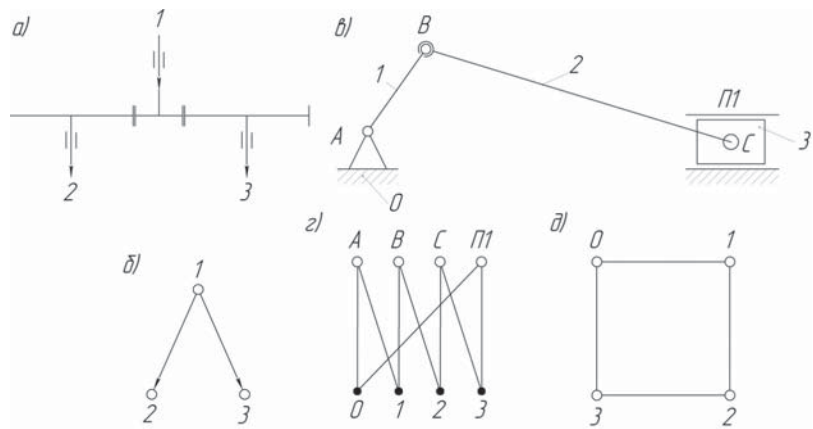


Рис. 5.

механизмам, в которых в вершины отображаются звенья из множества X^n (зачерненный кружок), а светлым кружком отмечены вершины, отображающие кинематические пары.

На рис. 5, г показан двудольный граф, соответствующий механизму по рис. 5, в. Матрица инцидентий, соответствующая рычажному механизму по рис. 5, в имеет вид

$$\begin{vmatrix} & \text{О} & \text{А} & \text{В} & \text{П1} \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 4 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

В работе [16] структуру представляют графом, вершины которого соответствуют звеньям, а ребра – кинематическим парам (рис. 5, д). Там же предлагается граф, на котором вершины соответствуют структурным группам, а ребра – соединениям этих групп. К сожалению, данные представления не получили дальнейшее развитие. На основе обзора методик представления структур зубчатых механизмов очевидна целесообразность введения в теорию передач различных топологических методов описания строения (матрицы, теория графов...). Топологические методы позволяют решить все три основных этапа синтеза зубчатых механизмов: образование (перечисление) и построение схем; вычисление основных энергокинематических параметров; размещение механизмов в пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов М.В. Теория одно-двухступенчатых планетарных передач. – М.: Машиностроение, 1966. – 164 с.
2. Колчин Н.И., Струков Н.И. Проектирование сложных планетарных передач из простых цепей по методике Н.И. Струкова. – Л.: Изд. ЛПИ, 1962. – 42 с.
3. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. – М. – Л.: Машгиз, 1960. – 280 с.
4. Руденко Н.Ф. Планетарные передачи. – М.: Машгиз, 1947.

5. Кирдяшев Ю.Н., Иванов А.Н. Проектирование сложных зубчатых механизмов. – Л.: Машиностроение, 1973. – 351 с.
6. Иванченко Н.П., Сушков Ю.А., Вашец А.Д. Автоматизация выбора схем планетарных коробок передач: Справ. пособие. – Л.: Машиностроение, 1974. – 231 с.
7. Черенин В.П. Символическое изображения планетарных и дифференциальных механизмов // Изв. АН СССР. – Сер. ОНТ. – 1958. – №1. – С. 35–43.
8. Антонов А.С., Магидович Е.И., Новохатько И.С. Гидромеханические и электромеханические передачи транспортных и тяговых машин: Теория, основы проектирования, конструкция и расчет. – Л.: Машгиз, 1963. – 351 с.
9. Крейнис М.А., Розовский М.С. Зубчатые механизмы: Выбор оптимальных схем. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1972. – 428 с.
10. Сушков Ю.А. Графы зубчатых механизмов. – Л.: Машиностроение, 1983. – 215 с.
11. Зыков Ю.А. Гиперграфы // Успехи математических наук. – 1974. – Вып. 6. – С. 89–154.
12. Планетарные передачи: Справ./ В.Н. Кудрявцев, Ю.Н. Кирдяшев, Ю.А. Державец, Е.Г. Гинзбург, А.Н. Иванов и др. – Л.: Машиностроение, 1977. – 536 с.
13. Mayer B., Seitt W. Darstellung von Zahnzadgetrieben in mehrspindligen Bohrkopfen als Graph // Ind.-Anz. – 1981. – 103. – №70. – S 31, 32.
14. Müller H.W. Analogie Zwischen Umlaufgetrieben, ihre Nutzung für die Getriebe // Analuse und Synthese // Maschinenbantechnik. – 1974. – 23. – №11. – S. 516–519, II, III.
15. Nitescu G. Analuse und Synthese der Planetengetriebe // Antriebstechnik. – 1983. – 22. – №4. – S. 62, 66–68.
16. Теория механизмов и машин: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / М.З. Колосовский, А.Н. Евграфов и др. – 2-е изд., испр. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 560 с. ■

Ужесточение требований к безопасности эксплуатации судна приводит к необходимости более детального технического и экономического анализа конструктивных решений, принимаемых на этапе проектирования, постройки и эксплуатации судна.

Существующие требования нормативных документов классификационных обществ отражают богатый опыт технического наблюдения за эксплуатацией судов различных типов, но не обладают абсолютной универсальностью, что в ряде случаев приводит к необходимости применять уточненные математические модели поведения судна на нерегулярном морском волнении и определять действующие на корпус судна нагрузки с помощью так называемых «прямых методов» (direct calculations). Такие методы:

- позволяют учитывать вероятностную природу (случайность и нерегулярность) процесса морского волнения;
- рассматривают взаимодействие корпуса судна с водой как сложное гидродинамическое явление.

Корпус судна представляет собой удлиненную тонкостенную подкрепленную набором оболочку, совершающую колебания на поверхности жидкости, и нагруженную по смоченной поверхности гидродинамическими и гидростатическими давлениями. Общие и местные деформации, вызываемые этими давлениями, связаны. В качестве уравнений равновесия в данном случае должны быть выписаны уравнения колебаний упругой оболочки. Решение данной связанной задачи гидродинамики и прочности в настоящее время возможно численными методами (связанная задача CFD-FEA).

Однако учет таких факторов, как брызгообразование, заливаемость и т.п., усложняют решение задачи численными методами, а в ряде случаев приводит к тому, что применение численных методов вообще не представляется возможным (например, в судовых условиях на бортовом компьютере). В связи с этим предлагается использовать подход, основанный на решении задачи поведения корпуса судна на волнении как плавающей балки переменного сечения, с заданным распределением весовой нагрузки по длине и базирующийся на решении уравнения колебаний балки в вертикальной плоскости [1, 2, 4]. При этом предполагается, что вклад нагрузки при других видах перемещений корпуса судна (бортовая качка, крутильные колебания, изгиб в горизонтальной плоскости) невелик по сравнению с нагрузкой, обусловленной перемещениями в вертикальной плоскости.

При данном подходе величина расчетных волновых изгибающих моментов определяется в результате решения задачи о колебаниях корпуса судна (плавающей безопорной балки) под воздействием

ПОСТАНОВКА, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КОРПУС СУДНА

М.С. Бойко, аспирант СПбГМТУ, контакт. тел. +7 921 570 7650

некоторой гидродинамической нагрузки $q^{hd}(x, t)$. В первом приближении $q^{hd}(x, t)$ может быть представлена в виде суммы линейной и нелинейной части. Линейная часть определяется в предположении справедливости линейной теории волн, прямолинейности борта судна и неограниченности высоты борта и осадки. Нелинейная часть учитывает геометрическую нелинейность обводов корпуса судна, а также возможность выхода ряда сечений из воды с последующим ударом о воду (бортовой и днищевой слеминг).

Исходя с позиций теории случайных функций, корпус судна на нерегулярном морском волнении можно рассматривать как динамическую систему, «входным» процессом для которой является морское волнение, а в качестве «выходных» процессов могут рассматриваться, например, изгибающие моменты, перерезывающие силы, качка и связанные с ней силы инерции и т.п. Динамические системы подразделяются на линейные и нелинейные. При этом для линейной динамической системы справедливо следующее выражение:

$$S_{\text{output}}(\omega) = S_{\text{input}}(\omega) \cdot \alpha^2(\omega), \quad (1)$$

где $S_{\text{output}}(\omega)$ и $S_{\text{input}}(\omega)$ – спектральная плотность «выходного» и «входного» процессов соответственно; $\alpha(\omega)$ – АЧХ (амплитудно-частотная характеристика) линейной динамической системы.

Тогда дисперсия D_x и стандарт σ_x соответствующего «выходного» процесса определяется по следующему известному выражению:

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 = D_x &= \int_0^{\infty} S_{\text{output}}(\omega) d\omega = \\ &= \int_0^{\infty} S_{\text{input}}(\omega) \cdot \alpha^2(\omega) d\omega. \end{aligned} \quad (2)$$

При практических вычислениях интегралы следует заменить знаками суммирования, а верхний предел заменить на N – конечное количество составляющих процесса (число участков дискретизации спектра).

Линейность корпуса судна как динамической системы обусловлена допущением о малости перемещений корпуса судна в процессе качки, т.е. прямолинейностью борта в районе переменной ва-

терлинии, неограниченностью высоты борта и осадки. При движении на интенсивном волнении это допущение нарушается, вклад нагрузок при слеминге становится значительным, и корпус судна не может быть признан линейной динамической системой.

Поэтому для строгого определения интегральных статистических характеристик «выходных» реакций корпуса судна при движении на стационарном волнении высокой интенсивности необходимо выполнять расчет не в частотной области, а в реальном времени, т.е. проводить имитационное моделирование реакций корпуса судна. Имитационная модель позволяет описать движение судна на реальном нерегулярном волнении с учетом всей последовательности его колебательных движений: всплытия с возможным выходом из воды части сечений носа или кормы, последующее погружение до уровня существенной непрямолинейности обводов корпуса судна. Такой подход дает возможность получать реакции корпуса судна в виде реализаций случайных процессов, длина которых должна быть достаточна для того, чтобы построить законы распределения суммарных волновых моментов с учетом нелинейных эффектов. Дисперсия и стандарт в данном случае могут быть определены по следующему выражению:

$$\sigma_x^2 = D_x = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\overset{\circ}{X}(t_i) \right]^2}{n}, \quad (3)$$

где $\overset{\circ}{X}(t_i)$ – центрированное значение случайной выходной характеристики; n – количество моментов времени.

Полученные интегральные статистические характеристики позволяют перейти к расчету предельной прочности и усталостной долговечности корпуса судна в соответствии с существующими вероятностными схемами нормирования.

Начальным этапом имитационного моделирования является получение электронно-цифровой модели двумерного нерегулярного морского волнения $\zeta_0(x, t)$. Такая модель с достаточной для

практических расчетов точною может быть представлена в соответствии со спектральным методом [3]:

$$\zeta_{\sigma}(x, t) = \sum_{i=1}^n a_i \cos(\omega_{ki} t - k_i \cos \varepsilon \cdot x + \delta_i), \quad (4)$$

где a_i – неслучайная величина, которая определяется непосредственно из спектра морского волнения; ω_{ki} – кажущаяся частота волны; k_i – волновое число; ε – курсовой угол (для встречного волнения принимается равным 180°); x – текущая координата по длине корпуса судна; δ_i – случайная фаза, равномерно распределенная в интервале углов от 0 до 2π .

В соответствии с предлагаемым подходом задача определения линейных и нелинейных реакций корпуса судна разделяются. Результаты решения линейной задачи являются исходными данными для решения нелинейной задачи, что предполагает применение метода последовательных приближений.

Для решения линейной задачи качки на регулярной волне необходимо решить систему двух дифференциальных уравнений, известных как уравнения качки в форме Ростовцева, полученных на основе результатов Хаскинды:

$$\begin{cases} a_{11} \ddot{\zeta} + b_{11} \dot{\zeta} + c_{11} \zeta + a_{12} \ddot{\psi} + b_{12} \dot{\psi} + c_{12} \psi = F_z^e; \\ a_{21} \ddot{\zeta} + b_{21} \dot{\zeta} + c_{21} \zeta + a_{22} \ddot{\psi} + b_{22} \dot{\psi} + c_{22} \psi = M_y^e, \end{cases} \quad (5)$$

где a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} определяются характеристиками корпуса судна; ζ и ψ – вертикальная и килевая качка соответственно; F_z^e и M_y^e – возмущающая сила и возмущающий момент соответственно.

Решение системы (5) следует записывать в реальном времени в виде массива действительных чисел. При этом решение на нерегулярном волнении может быть получено как суперпозиция регулярных составляющих.

На основании полученных линейных кинематических параметров движения корпуса судна как твердого тела определяются дополнительные динамические нагрузки при слеминге. Трудности отыскания строгого решения задачи о вхождении корпуса судна в волну с учетом наличия водо-воздушной смеси в поверхностных слоях воды, развития брызговых струй и т.п. привели к развитию условных методов расчета, базирующихся на упрощенных моделях взаимодействия корпуса судна и волны при их относительном движении. Для определения нелинейных нагрузок предложено применять энергетический подход на основе уравнения Лагранжа, а также на основе метода относительных скоростей и ускорений. Жидкость считается идеальной, движение ее безвихревое.

Мгновенная осадка $T_{act}(t)$ в сечении является обобщенной координатой, характеризующей поле скоростей жидкости, а мгновенная присоединенная масса $\mu(T_{act})$ является обобщенной массой,

соответствующей этой координате. Тогда мгновенную кинетическую энергию жидкости можно представить как

$$E = \mu(T_{act}) \frac{\dot{T}_{act}^2}{2}. \quad (6)$$

В выражении (6) не учитывается энергия брызговых струй. Будем полагать, следуя Вагнеру, что вблизи контура вместо брызговых струй появляется пологая волна (волна вытеснения), изменяющая величину мгновенной осадки контура.

Искомая гидродинамическая нагрузка на контур шпангоута на основе уравнений Лагранжа может быть определена следующим образом:

$$q_{sl}^{hd}(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{T}_{act}} \right) - \frac{\partial E}{\partial T_{act}}. \quad (7)$$

Величина мгновенной осадки и скорости в соответствии с принятым подходом определяется на основе решения линейных уравнений продольной качки судна. Мгновенная присоединенная масса может быть с удовлетворительной точностью найдена по следующей схеме (с учетом волны вытеснения):

- действительная свободная поверхность жидкости заменяется плоской, уровень которой лежит выше уровня невозмущенной свободной поверхности на некоторую величину $h(x)$;

- процесс погружения рассматривается как непрерывное изменение формы погруженной части сечения, характеризующее мгновенной шириной и осадкой контура с учетом волны вытеснения.

Общее перемещение корпуса судна под действием нелинейной нагрузки при слеминге представим в виде суммы динамических перемещений как твердого тела (ζ_d и ψ_d) и упругого перемещения по первой форме колебаний $p_1(t)\phi_1(x)$. Для разделения задачи определения указанных перемещений воспользуемся методом Бубнова–Галеркина. Тогда динамические перемещения как твердого тела определяются из условия равновесия корпуса судна как твердого тела относительно главного вектора и главного момента при воздействии нагрузки при слеминге, а упругие колебания определяются из уравнения

$$\ddot{p}_1(t) + \gamma_c \lambda_1 \dot{p}_1(t) + \lambda_1^2 p_1(t) = \frac{Q_{eff}(t)}{M_{eff}}, \quad (8)$$

где $p_1(t)$ – обобщенная координата; λ_1 – частота первого тона общей вибрации корпуса судна; γ_c – коэффициент демпфирования; $Q_{eff}(t)$ – обобщенная сила при колебании корпуса по первой форме; M_{eff} – обобщенная масса при колебаниях корпуса по первой форме.

Поскольку правая часть дифференциального уравнения (8) представляет собой функцию общего вида, то решение уравнения следует выполнять численными методами (например, методом Рунге–Кутты четвертого порядка).

Следует отметить, что степень опасности двух видов перемещений для прочности корпуса судна определяется пе-

риодом нарастания нелинейной нагрузки при слеминге. Если период нарастания близок к периоду собственных колебаний корпуса как твердого тела, то более опасными будут перемещения корпуса при качке; если период нарастания будет близок к периоду собственных колебаний корпуса судна как балки, то более опасными будут упругие перемещения.

После определения дополнительных динамических перемещений корпуса судна как твердого тела и упругих перемещений под действием нагрузки при слеминге следует перейти к определению дополнительных изгибающих моментов и перерезывающих сил. Изгибающий момент может быть определен либо путем дифференцирования по координате x функции прогиба, либо путем двукратного интегрирования по длине корпуса (балки) выражения для суммарной погонной нагрузки. Динамический момент, определенный таким способом, суммируется с линейным квазистатическим, а также с изгибающим моментом на тихой воде.

Полученная реализация во времени может быть подвергнута статистическому анализу: определено значение математического ожидания (которое в общем случае не равно нулю), а также значения дисперсии и стандарта. Эти интегральные статистические характеристики могут быть использованы для определения амплитуды однократного «выброса» суммарного изгибающего момента за определенный период времени, т.е. позволяющих перейти к построению краткосрочных распределений изгибающего момента в корпусе судна.

Таким образом, выше изложены методы и алгоритмы упрощенного решения задачи об определении волновых нагрузок в корпусе судна на основе имитационной модели с учетом слеминга. Этот подход может быть запрограммирован и использован на практике, например, в бортовых компьютерных системах, в классификационных обществах для совершенствования нормативной базы, в конструкторских бюро и научно-исследовательских организациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Короткин Я.И., Рабинович О.Н., Ростовцев Д.М. Волновые нагрузки корпуса судна. – Л.: Судостроение, 1987. – 236 с.
2. Короткин Я.И., Ростовцев Д.М., Сиверс Н.Л. Прочность корабля. – Л.: Судостроение, 1974. – 432 с.
3. Луговский В.В. Динамика моря. – Л.: Судостроение, 1976. – 200 стр.
4. Рабинович О.Н., Смирнов Ю.А., Тряскин В.Н. Прогнозирование волновых нагрузок на корпус судна с учетом слеминга на нерегулярном волнении. – СПб.: Тр. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2005, вып.23(307), с. 79–92. ■

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ КАЧКЕ СУДНА НА МЕЛКОВОДЬЕ

Тан Хтун Аунг, аспирант СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 776 1746

В настоящее время существуют некоторые типы судов (рис. 1), для которых вводятся ограничения по ускорениям при качке на взволнованном море, связанные либо с видом перевозимого груза, либо с назначением, либо с необходимостью выполнения тех или иных требований для обеспечения безопасной эксплуатации.

В основном учитываются вертикальные ускорения от бортовой качки, однако иногда нормируются суммарные вертикальные ускорения в различных комбинациях видов качки: бортовая плюс вертикальная (на верхних палубах, на мостике), килевая плюс вертикальная (на носовом перпендикуляре) [5]

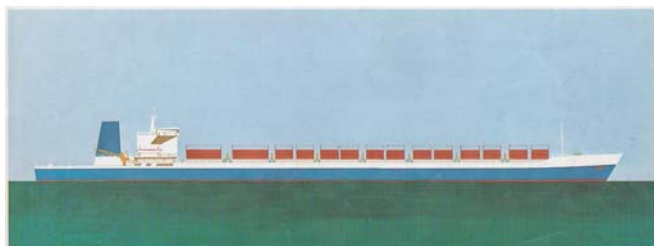


Рис. 1. Контейнеровоз

В настоящей статье рассмотрим определение ускорений с учетом всех шести видов колебаний судна на регулярном и нерегулярном волнении в условиях мелководья на основании использования трехмерной потенциальной теории, изложенной в [1], и проанализируем влияние ограниченной глубины на амплитудные значения ускорений.

Выражения для амплитудных значений ускорений в произвольной точке корпуса судна имеют следующий вид [2]:

$$\ddot{\xi}_{mA} = \omega_k^2 \xi_{mA}; \quad \ddot{\eta}_{mA} = \omega_k^2 \eta_{mA}; \quad \ddot{\zeta}_{mA} = \omega_k^2 \zeta_{mA}, \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} \xi_{mA} &= \sqrt{\xi_{g0}^2 + y^2 \chi_0^2 + z^2 \psi_0^2 - 2y\xi_{g0}\chi_0 \cos(\delta_\xi - \delta_\chi) + \dots} \\ &\leftarrow \sqrt{+2z\xi_{g0}\psi_0 \cos(\delta_\xi - \delta_\psi) - 2zy\chi_0\psi_0 \cos(\delta_\chi - \delta_\psi)} \\ \eta_{mA} &= \sqrt{\eta_{g0}^2 + x^2 \chi_0^2 + z^2 \theta_0^2 - 2z\eta_{g0}\theta_0 \cos(\delta_\eta - \delta_\theta) + \dots} \\ &\leftarrow \sqrt{+2x\eta_{g0}\chi_0 \cos(\delta_\eta - \delta_\chi) - 2zx\chi_0\theta_0 \cos(\delta_\chi - \delta_\theta)} \\ \zeta_{mA} &= \sqrt{\zeta_{g0}^2 + x^2 \psi_0^2 + y^2 \theta_0^2 - 2x\zeta_{g0}\psi_0 \cos(\delta_\zeta - \delta_\psi) + \dots} \\ &\leftarrow \sqrt{+2y\zeta_{g0}\theta_0 \cos(\delta_\zeta - \delta_\theta) - 2yx\psi_0\theta_0 \cos(\delta_\psi - \delta_\theta)} \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь x, y, z – координаты точки; $\xi_{g0}, \eta_{g0}, \zeta_{g0}, \theta_0, \psi_0, \chi_0$ – амплитуды продольно-горизонтальной, поперечно-горизонтальной, вертикальной, бортовой, килевой качки и рысканья; $\delta_\xi, \delta_\eta, \delta_\zeta, \delta_\theta, \delta_\psi, \delta_\chi$ – фазы перечисленных видов качки.

Амплитудные и фазовые характеристики каждого вида качки определяются на основании решения системы дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} (M + \lambda_{11})\ddot{\xi}_g + \lambda_{13}\dot{\xi}_g + \lambda_{15}\ddot{\psi} + \mu_{11}\dot{\xi}_g + \mu_{13}\dot{\zeta}_g + \mu_{15}\dot{\psi} &= F_{B1}e^{-i\omega_k t}; \\ (M + \lambda_{22})\ddot{\eta}_g + \lambda_{24}\ddot{\theta} + \lambda_{26}\ddot{\chi} + \mu_{22}\dot{\eta}_g + \mu_{24}\dot{\theta} + \mu_{26}\dot{\chi} &= F_{B2}e^{-i\omega_k t}; \\ (M + \lambda_{33})\ddot{\zeta}_g + \lambda_{31}\dot{\xi}_g + \lambda_{35}\dot{\psi} + \mu_{33}\dot{\zeta}_g + \mu_{31}\dot{\xi}_g + \mu_{35}\dot{\psi} + \\ &+ ggS\zeta_g - \rho g S X_j \psi = F_{B3}e^{-i\omega_k t}; \\ (J_{xx} + \lambda_{44})\ddot{\theta} + \lambda_{42}\dot{\eta}_g + \lambda_{46}\dot{\chi} + \mu_{44}\dot{\theta} + \mu_{42}\dot{\eta}_g + \mu_{46}\dot{\chi} + \\ &+ Dh_0\theta = F_{B4}e^{-i\omega_k t}; \\ (J_{yy} + \lambda_{55})\ddot{\psi} + \lambda_{51}\dot{\xi}_g + \lambda_{53}\dot{\zeta}_g + \mu_{55}\dot{\psi} + \mu_{51}\dot{\xi}_g + \mu_{53}\dot{\zeta}_g + \\ &+ DH_0\psi - \rho g S \cdot X_j \zeta_g = F_{B5}e^{-i\omega_k t}; \\ (J_{zz} + \lambda_{66})\ddot{\chi} + \lambda_{62}\dot{\eta}_g + \lambda_{64}\dot{\theta} + \mu_{66}\dot{\chi} + \mu_{62}\dot{\eta}_g + \mu_{64}\dot{\theta} &= F_{B6}e^{-i\omega_k t} \end{aligned} \right\} (3)$$

где S – площадь действующей ватерлинии; D – весовое водоизмещение судна, M – масса судна; h_0, H_0 – поперечная и продольная метацентрические высоты; J_{xx}, J_{yy}, J_{zz} – центральные моменты инерции судна; X_j – абсцисса центра тяжести площади ватерлинии.

Входящие в систему (3) коэффициенты присоединенных масс λ_{ij} , демпфирования μ_{ij} и возмущающие силы F_{Bi} определяются на основании трехмерной потенциальной теории по следующим формулам:

$$\lambda_{ij} = -\rho \operatorname{Re} \left[\iint_S \varphi_j n_i dS \right]; \quad \mu_{ij} = -\rho \omega \operatorname{Im} \left[\iint_S \varphi_j n_i dS \right]; \quad (4)$$

$$F_{Bi} = -\rho \omega \zeta_w e^{-i\omega_k t} \iint_S (\varphi_0 + \varphi_7) n_i dS,$$

где $\varphi_0 = -i \frac{g}{\omega} \zeta_w \frac{\cosh \mu_0 (\zeta + H)}{\cosh \mu_0 H} e^{i\mu_0 (\xi \cos \beta + \eta \sin \beta)}$ – потенциал набегающего волнения; H – глубина фарватера, β – курсовой угол, ζ_w – амплитуда волны.

Решение данной задачи основано на применении метода граничных интегральных уравнений, согласно которому неизвестные потенциалы φ_i и φ_7 определяются как [1]:

$$\varphi_i = \frac{1}{4\pi} \iint_S \sigma_i(\xi, \eta, \zeta) G(\xi, \eta, \zeta, x, y, z) dS; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} G(\xi, \eta, \zeta, x, y, z) &= \frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} + \\ &+ 2 \int_0^\infty \frac{(k + v) e^{-kH} \cosh k(\zeta + H) \cosh k(z + H)}{k \sinh kH - v \cosh kH} J_0(kR) dk + \\ &+ 2 \int_0^\infty \frac{(\mu_0^2 - v^2) \cosh \mu_0(\zeta + H) \cosh \mu_0(z + H)}{(\mu_0^2 - v^2)H + v} J_0(\mu_0 R); \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 + (\zeta - z)^2}; \\ r_1 &= \sqrt{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2 + (\zeta + z)^2}; \\ R &= \sqrt{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2}. \end{aligned}$$

При этом μ_0 определяется из уравнения

$$\mu_0 \tanh \mu_0 H = \frac{\omega^2}{g} = v.$$

Вместо выражения (7) в работе используется следующее представление для функции Грина при $R \neq 0$ [3]:

$$\begin{aligned} G(\xi, \eta, \zeta, x, y, z) &= 2\pi \times \\ &\times \frac{(\mu_0^2 - v^2) \cosh \mu_0(\zeta + H) \cosh \mu_0(z + H)}{(\mu_0^2 - v^2)H + v} (N_0(\mu_0 R) + iJ_0(\mu_0 R)) + \\ &+ 4 \sum_{k=1}^\infty \frac{(\mu_k^2 + v^2) \cos \mu_k(\zeta + H) \cos \mu_k(z + H)}{(\mu_k^2 + v^2)H - v} K_0(\mu_k R), \end{aligned} \quad (8)$$

где μ_k – положительные корни уравнения $\mu_k \tan \mu_k h + v = 0$.

Неизвестная интенсивность источников $\sigma_i(\xi, \eta, \zeta)$ определяется из граничных условий на поверхности тела с помощью интегрального уравнения следующего вида:

$$-\frac{1}{2} \sigma_i(\xi, \eta, \zeta) + \frac{1}{4\pi} \iint_S \sigma_j(\xi, \eta, \zeta) \frac{\partial G(\xi, \eta, \zeta, x, y, z)}{\partial n} dS = n_j. \quad (9)$$

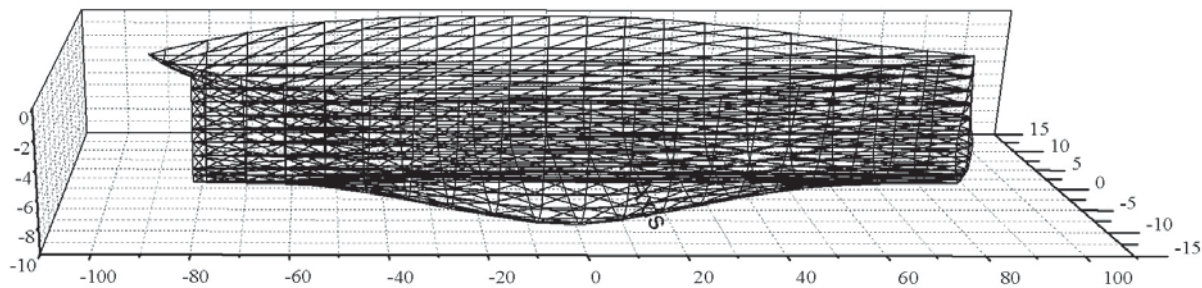


Рис. 2. Описание смоченной поверхности контейнеровоза S-175 1152 панелями

Для численного решения интегрального уравнения (7) смоченная поверхность судна разбивается на конечное число плоских треугольных элементов (рис. 2). При этом граничные условия записываются для одной точки, принадлежащей каждому элементу и находящейся в центре этого элемента.

На основании изложенного метода были выполнены расчеты относительных ускорений $A_\xi = \frac{\xi_A}{g}$; $A_\eta = \frac{\eta_A}{g}$; $A_\zeta = \frac{\zeta_A}{g}$ в точке $m_1 (L/2, 0, Hn)$ на носовом перпендикуляре и точке $m_2 (0, B/2, Hn)$ на правом борту при движении на различных курсовых углах. Некоторые типичные результаты расчетов представлены на рис. 3–7 для контейнеровоза S-175 и судна 60-й серии с коэффициентом общей полноты $\delta = 0,8$.

Анализ полученных результатов показал, что при движении на попутном волнении вертикальные составляющие ускорения A_ζ возрастают при увеличении относительной глубины H/T , независимо от координат расчетной точки m_i (рис. 3). При движении на встречном волнении ускорения A_ζ возрастают при увеличении H/T в зоне частот $\omega\sqrt{L/g} > 1,5$. В зоне частот $\omega\sqrt{L/g} < 1,5$, наоборот, в большинстве случаев, A_ζ возрастают при уменьшении H/T или вовсе не зависят от его изменения (рис. 4). Также для зависимости $A_\zeta = f(\omega)$ ха-

рактерен значительный сдвиг максимального значения в зону низких частот при уменьшении H/T (рис. 4).

Уменьшение вертикальных ускорений A_ζ и сдвиг их максимальных значений при уменьшении H/T обусловлено, в первую очередь, соответствующими уменьшениями и сдвигами амплитуд вертикальной и килевой качки [1].

Продольные составляющие горизонтального ускорения A_ξ в точке m_1 на носовом перпендикуляре при движении судна на встречном волнении, также как и A_ζ увеличиваются при увеличении H/T в зоне частот $\omega\sqrt{L/g} > 1$ и уменьшаются в зоне $\omega\sqrt{L/g} < 1$ (рис. 5).

В ряде случаев при движении на косых курсовых углах с носовой четверти при $\omega\sqrt{L/g} < 1$ A_ξ практически не зависит от изменения H/T .

В зоне частот $\omega\sqrt{L/g} > 1$ значения ускорений A_ξ возрастают при увеличении H/T (см. рис. 5). При этом отношения $\frac{A_{\xi \max}(H/T=4)}{A_{\xi \max}(H/T=1.2)}$ могут изменяться в пределах от 2 до 12. Это связано с тем, что при $\omega\sqrt{L/g} > 1$ амплитуды продольно-горизонтальной качки и рысканья практически перестают зависеть от изменения H/T , в то время как амплитуды килевой качки уменьшаются при уменьшении H/T . Также следует отметить,

что значения горизонтальных ускорений A_ξ в точках m_1 и m_2 практически одинаковы при движении на соответствующих курсовых углах. Это обусловлено тем, что основное влияние на амплитуды A_ξ оказывают продольно-горизонтальная и килевая качка. Поэтому, при одинаковых аппликатах точек m_1 и m_2 большой разницы в ускорениях A_ξ не будет.

Поперечные составляющие горизонтальных ускорений A_η при движении на попутных курсовых углах возрастают при увеличении H/T независимо от координат рассматриваемой точки (рис. 6). При расположении судна лагом значение A_η практически не зависит от глубины фарватера (рис. 7).

При движении на встречных курсовых углах значения ускорений A_η возрастают при уменьшении H/T в зоне частот $\omega\sqrt{L/g} < 2$, независимо от координат точки. При $\omega\sqrt{L/g} > 2$, наоборот, наблюдается возрастание A_η при увеличении H/T .

Неоднозначная зависимость поперечных ускорений A_η от относительной глубины фарватера H/T , в отличие от вертикальных ускорений A_ζ объясняется следующим образом: A_η является функцией амплитуд трех поперечных видов качки η_{g0} , χ_0 и θ_0 , из которых η_{g0} и χ_0 возрастают при уменьшении H/T в диапазоне частот $\omega\sqrt{L/g} < 2$. Амплитуды бортовой качки θ_0 практически не зависят от изменения H/T . Поэтому при определенных сочетаниях фаз δ_η , δ_χ и δ_θ и одинаковых амплитудах θ_0 возможно

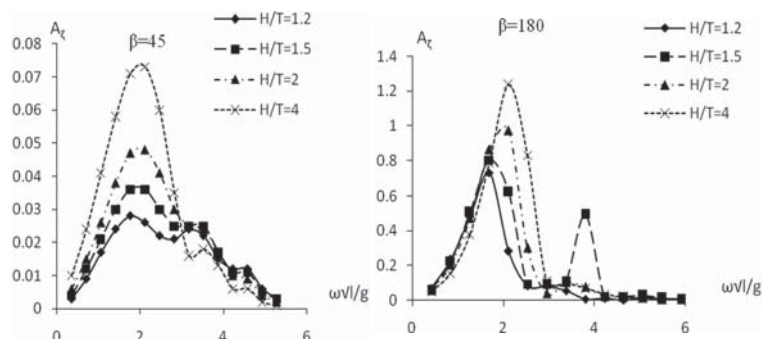


Рис. 3. Амплитудные значения ускорений A_ζ для судна 60-й серии в точке $(x=L/2; y=0; z=H)$ в зависимости от изменения H/T ($Fr = 0,2$)

Рис. 4. Амплитудные значения ускорений A_ζ для контейнеровоза S-175 в точке $(x=L/2; y=0; z=H)$ в зависимости от изменения H/T ($Fr = 0,275$)

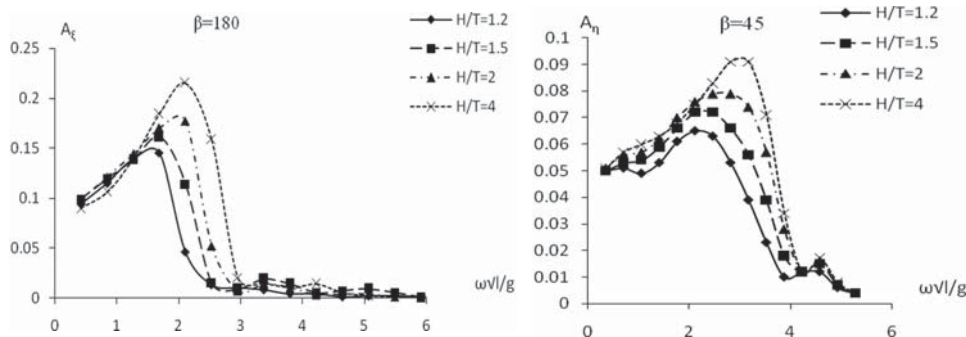


Рис. 5. Амплитудные значения ускорений A_ξ для судна 60-й серии в точке $(x=L/2; y=0; z=H)$ в зависимости от изменения H/T ($Fr = 0,275$)

Рис. 6. Амплитудные значения ускорений A_η для судна 60-й серии в точке $(x=L/2; y=0; z=H)$ в зависимости от изменения H/T ($Fr = 0,2$)

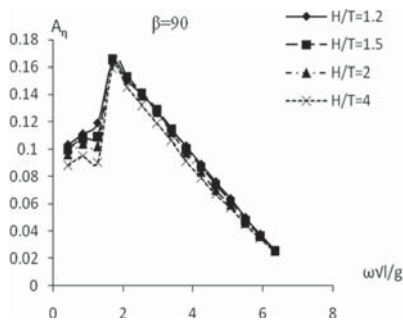


Рис. 7. Амплитудные значения ускорений A_{η} для контейнеровоза S-175 в точке ($x=0$; $y=B/2$; $z=H$) в зависимости от изменения H/T ($Fr=0.275$)

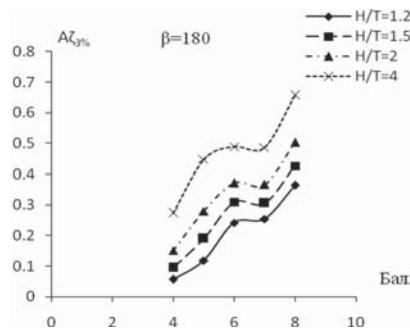


Рис. 8. Амплитуды вертикальных ускорений на носовом перпендикуляре для судна 60-й серии при движении на нерегулярном волнении ($\beta=180$) в зависимости от изменения H/T

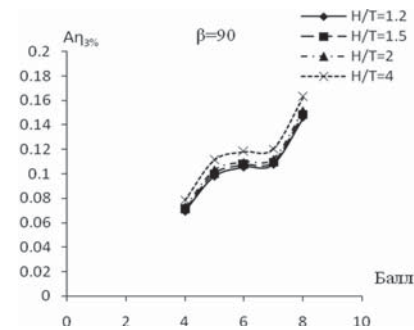


Рис. 9. Амплитуды горизонтальных ускорений на носовом перпендикуляре для судна 60-й серии при движении на нерегулярном волнении ($\beta=90$) в зависимости от изменения H/T

различное поведение амплитуд A_{η} в зависимости от H/T на разных курсовых углах. Необходимо отметить значительное влияние квадрата кажущейся частоты ω_k^2 на все составляющие ускорения и особенно на A_{η} . Поскольку волновое число μ_0 увеличивается при уменьшении H/T , то при движении на попутных курсовых углах, значения ω_k на мелководье меньше соответствующей величины на глубокой воде. При движении на встречных курсовых углах, наоборот, значение частоты ω_k на мелководье становится больше соответствующей кажущейся частоты для бесконечно глубокой жидкости, что в сочетании с возрастанием амплитуд ξ_{g0} и η_{g0} приводит к увеличению соответствующих составляющих ускорений.

Таким образом, влияние мелководья на значения ускорений складывается из двух факторов: влияния изменения квадрата кажущейся частоты от H/T : $\omega_k^2 = f(H/T)$ и влияния изменения амплитуд различных видов качки от того же параметра, $\xi_{g0}, \eta_{g0}, \zeta_{g0}, \theta_0, \psi_0, \chi_0 = f(H/T)$. Определенные сочетания этих факторов приводят к различному поведению составляющих A_{ξ} , A_{ζ} и A_{η} при изменении глубины фарватера. На попутных курсовых углах $\beta < 90$ сильнее проявляется влияние уменьшения ω_k^2 при уменьшении H/T . На встречных курсовых углах, наоборот, более значительное влияние оказывают зависимости $\xi_{g0}, \eta_{g0}, \zeta_{g0}, \theta_0, \psi_0, \chi_0 = f(H/T)$.

Расчеты качки и ускорений судна на нерегулярном волнении в условиях ограниченного фарватера проводились с использованием спектра ТМА [4]:

$$S_{\zeta_w}(\omega, H) = \Phi(\omega, H) \cdot S_{\zeta_w}(\omega, \infty), \quad (10)$$

где $\Phi(\omega, H)$ – корреляционная функция, предложенная С.А. Китайгородским для учета влияния ограниченной глубины [4]:

$$\Phi(\omega, H) = \tanh^2(\mu_0 H) \left(1 + \frac{2\mu_0 H}{\sinh(2\mu_0 H)} \right)^{-1}, \quad (11)$$

$S_{\zeta_w}(\omega, \infty)$ – спектр для жидкости бесконечной глубины, например спектр JONSWAP [4]:

$$S_{\zeta_w}(\omega, \infty) = 172,8 h_{1/3}^2 / \tau^4 \omega^{-5} \exp \left[-691,2 \left(\frac{1}{\omega \tau} \right)^4 \right] \cdot A \cdot \gamma \cdot B, \quad (12)$$

где $A=0,658$; $\gamma=3,3$;

$$B = \exp \left\{ - \left(\frac{\omega - 1}{\omega_p} \right)^2 \right\}, \quad \omega_p = \frac{2\pi}{\tau_p}, \quad \begin{matrix} \sigma = 0,07 & \omega \leq \omega_p; \\ \sigma = 0,09 & \omega > \omega_p. \end{matrix} \quad (13)$$

Передаточные функции перемещений произвольной точки судна определяются по следующим формулам [2]:

$$\begin{aligned} |\Phi_{\xi_m}(\omega)|^2 &= |\Phi_{\xi_g}|^2 + z^2 |\Phi_{\psi}|^2 + y^2 |\Phi_{\chi}|^2 - 2y |\Phi_{\xi_g}| |\Phi_{\chi}| \cos(\delta_{\xi} - \delta_{\chi}) + 2z |\Phi_{\xi_g}| |\Phi_{\psi}| \cos(\delta_{\xi} - \delta_{\psi}) - 2zy |\Phi_{\psi}| |\Phi_{\chi}| \cos(\delta_{\psi} - \delta_{\chi}); \\ |\Phi_{\eta_m}(\omega)|^2 &= |\Phi_{\eta_g}|^2 + z^2 |\Phi_{\theta}|^2 + x^2 |\Phi_{\chi}|^2 - 2z |\Phi_{\eta_g}| |\Phi_{\theta}| \cos(\delta_{\eta} - \delta_{\theta}) + 2x |\Phi_{\eta_g}| |\Phi_{\chi}| \cos(\delta_{\eta} - \delta_{\chi}) - 2zx |\Phi_{\theta}| |\Phi_{\chi}| \cos(\delta_{\theta} - \delta_{\chi}); \\ |\Phi_{\zeta_m}(\omega)|^2 &= |\Phi_{\zeta_g}|^2 + y^2 |\Phi_{\theta}|^2 + z^2 |\Phi_{\psi}|^2 + 2y |\Phi_{\zeta_g}| |\Phi_{\theta}| \cos(\delta_{\zeta} - \delta_{\theta}) - 2x |\Phi_{\zeta_g}| |\Phi_{\psi}| \cos(\delta_{\zeta} - \delta_{\psi}) - 2yx |\Phi_{\theta}| |\Phi_{\psi}| \cos(\delta_{\psi} - \delta_{\theta}), \end{aligned} \quad (14)$$

где $\Phi_{\xi_g}, \Phi_{\eta_g}, \Phi_{\zeta_g}, \Phi_{\theta}, \Phi_{\psi}, \Phi_{\chi}$ – амплитудно-частотные характеристики соответствующих видов качки.

Псевдоспектры ускорений определяются обычным способом:

$$\begin{aligned} S_{\xi_m}(\omega) &= \omega_k^4 \cdot |\Phi_{\xi_m}(\omega)|^2 S_{\zeta_w}; \\ S_{\eta_m}(\omega) &= \omega_k^4 \cdot |\Phi_{\eta_m}(\omega)|^2 S_{\zeta_w}; \\ S_{\zeta_m}(\omega) &= \omega_k^4 \cdot |\Phi_{\zeta_m}(\omega)|^2 S_{\zeta_w}. \end{aligned} \quad (15)$$

Дисперсии ускорений определяются интегрированием спектральных плотностей по частотам:

$$D_{\xi_m} = \int_0^{\infty} S_{\xi_m}(\omega) d\omega; D_{\eta_m} = \int_0^{\infty} S_{\eta_m}(\omega) d\omega; D_{\zeta_m} = \int_0^{\infty} S_{\zeta_m}(\omega) d\omega. \quad (16)$$

Наличие дисперсий позволяет вычислить ускорения 3%-ной обеспеченности:

$$A_{\xi_{3\%}} = 2,64 \sqrt{D_{\xi_m}}; A_{\eta_{3\%}} = 2,64 \sqrt{D_{\eta_m}}; A_{\zeta_{3\%}} = 2,64 \sqrt{D_{\zeta_m}} \quad (17)$$

На рис. 8–9 приведены характерные результаты расчетов амплитуд 3%-ной обеспеченности горизонтальных и вертикальной составляющих ускорения $A_{\xi_{3\%}}$, $A_{\eta_{3\%}}$ и $A_{\zeta_{3\%}}$ в зависимости от балльности волнения.

Полученные результаты показывают, что все составляющие ускорения увеличиваются при увеличении H/T независимо от координат расчетной точки судна и параметров движения. Особенно интенсивно возрастают при увеличении глубины амплитуды вертикальной составляющей ускорения $A_{\zeta_{3\%}}$. Так, при движении судна 60-й серии на встречном 6-балльном волнении ($\beta=45$) $A_{\zeta_{3\%}}$ на носовом перпендикуляре при $H/T=4$ больше соответствующего $A_{\zeta_{3\%}}$ ($H/T=1,2$) в 2,5 раза (рис. 8). Амплитуды горизонтальных составляющих ускорения $A_{\xi_{3\%}}$ и $A_{\eta_{3\%}}$ при изменении H/T от 1,2 до 2, в ряде случаев, практически не изменяются (рис. 9).

Таким образом, при качке судна в условиях мелководья возникающие ускорения значительно меньше, чем в условиях глубокой воды, независимо от балльности волнения, и вызывают значительно меньше негативных последствий.

ЛИТЕРАТУРА

- Семенова В.Ю., Тан Хтун Аонг. Определение амплитуд качки судна в условиях мелководья на основании трехмерной теории // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2010. – № 2(8).
- Бородай И.К., Нецветаев Ю.А. Качка судов на морском волнении. – Л.: Судостроение, 1969
- Wehausen J.V., Laitone E.V. Surface waves. Encyclopedia of Physics. Berlin // Springer-Verlag. – 1960. – Vol.9. – p. 446–778.
- Wen S., Guan C., Sun S. Effect of water depth on wind-wave frequency spectrum // Chinese journal of oceanology and limnology. – 1996. – Vol.14. – № 2.
- Кутейников М.А. Разработка и исследование теоретических основ для назначения эксплуатационных ограничений при нормировании мореходности морских судов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2001. ■

На практике часто приходится сталкиваться с задачами о подводных крыльях, кавитирующих крыльях и лопастях гребных винтов, о глиссирующих поверхностях и комплексах (тандемах) крыльев. При проектировании указанных элементов часто используются интерцепторы – специальные устройства, содержащие пластины и установленные поперек основной плоскости, примерно в перпендикулярном направлении. При установке на судах транцевых интерцепторов и гребных винтов с интерцепторами снижается общее сопротивление воды движению судна [6, 9].

Данная статья рассматривает проблему, к которой автор уже обращался в своих публикациях. Это плоская задача обтекания решетки кавитирующих пластин с интерцепторами с образованием застойной зоны. Она относится к теории струй идеальной жидкости. С. А. Чаплыгин [8] первым рассмотрел и проанализировал задачу обтекания пластины с застойной зоной – областью постоянного давления, скорость на границе которой меньше скорости набегающего потока V_∞ . Позднее такие модели рассматривались в [5] и многих других работах. Использование модели с застойной зоной позволяет достаточно адекватно моделировать отрыв потока вблизи интерцептора, оставаясь в рамках невязкой жидкости.

В данном случае рассмотрена одна из самых общих постановок задач такого типа.

Различным схемам замыкания каверны при кавитационном обтекании одиночной пластины с интерцептором с образованием застойной зоны уже был посвящен ряд статей, в том числе с участием автора [1–3]. Для замыкания каверны используется схема Тулина–Терентьева, предполагающая наличие в области замыкания двух быстросходящихся спиралей.

Также показано, как данная задача согласуется с проблемой обтекания одиночной пластины с интерцептором. Кроме того, демонстрируется наличие минимально возможного числа кавитации σ , что связано с задачей обтекания решетки пластин с интерцепторами по схеме Кирхгофа, когда каверна имеет бесконечную длину. Наконец, численно доказано, что для замыкания задачи следует использовать условие Бриллюена, в соответствии с которым предполагается гладкий сход застойной зоны с поверхности пластины, и которое позволяет определять давление внутри этой зоны не выходя за рамки модели идеальной жидкости.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим кавитационное обтекание решетки, состоящей из одинаковых параллельных плоских пластин с интер-

ЗАДАЧА О КАВИТАЦИОННОМ ОБТЕКАНИИ РЕШЕТКИ ПЛАСТИН С ИНТЕРЦЕПТОРОМ С ОБРАЗОВАНИЕМ ЗАСТОЙНОЙ ЗОНЫ И ЗАМЫКАНИЕМ КАВЕРНЫ ПО СХЕМЕ ТУЛИНА–ТЕРЕНТЬЕВА

А. К. Урядов, ст. преподаватель СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 921 345 62169

цепторами при условии, что жидкость – однородная, несжимаемая, отсутствует сила тяжести.

Выбрана модель обтекания с замыканием каверны по схеме Тулина–Терентьева (с образованием односпиральных вихрей).

Период решетки предполагается равным se^{γ} число кавитации σ . Пластина $|BO|$ длиной l находится под углом атаки α , интерцептор $|OA|$ имеет длину ε и угол наклона по отношению к пластине $\beta_s \in (-\pi; \pi)$.

Как показано на рис. 1 (слева), начало координат расположено в точке O , т.е. в точке начала пластины, ось x направлена вдоль потока, ось y – вверх. Застойная зона возникает вблизи интерцептора. Зона гладко (по касательной) сходится с пластины в заранее неизвестной точке E на пластине и примыкает также по касательной в другой неизвестной точке F на интерцепторе. Нулевая линия тока идет из бесконечно удаленной точки C_1 через неизвестную критическую точку D на пластине. Скорость набегающего потока в точке C_1 равна V_∞ , а модуль скорости на поверхности каверны $V_0 = V_\infty \sqrt{1 + \sigma}$. В бесконечно удаленной точке C_2 значение скорости неизвестно и равно $V_2 e^{-i\alpha_2}$.

В соответствии с данной схемой границы каверны не замыкаются, а образуют две быстросходящиеся спирали

с полюсами H^+ и H^- . Точка H разветвляющейся линии тока удалена в бесконечность. Бесконечным спиральным завиткам соответствует скачкообразное уменьшение модуля скорости от V_0 до 0. Представленное стационарное кавитационное течение в области замыкания является бесконечнолистным, в то время как в действительности возможно лишь однолистное течение.

Таким образом, область течения ограничена твердыми стенками BE и FA и свободными поверхностями AH , BH^+ и EF , причем участки BE и FA неизвестной длины. Заметим, что $|OA| = l$ и $|OB| = \varepsilon$, скорость V_1 на границе застойной зоны EF неизвестна.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

В соответствии с методом особых точек Чаплыгина физическую область течения, представленную на рис. 1 (слева), отобразим на прямоугольник $\pi/2 \times \pi\tau/2$ вспомогательной области ζ (рис. 1, справа), где τ имеет чисто мнимое значение. Соответствие точек физической области $z = x + iy$ и вспомогательной области $\zeta = \xi + i\eta$ можно видеть, сравнив правый и левый рис. 1. Бесконечно удаленной точке C_1 на вспомогательной плоскости соответствует точка $\zeta_1 = a + ib$. Точка же C_2 за решеткой на плоскости ζ имеет значение $\zeta_2 = e + if$.

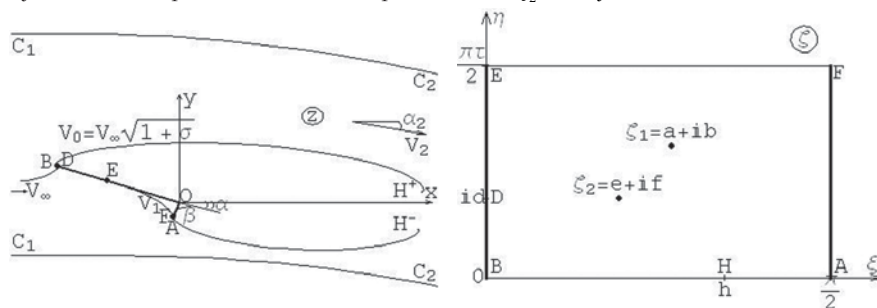


Рис. 1. К задаче обтекания решетки кавитирующих пластины с интерцептором с образованием застойной зоны и замыканием каверны по схеме Тулина–Терентьева. Физическая и вспомогательная плоскости в пределах одного периода

Выражения для производных комплексного потенциала $w = \phi + i\psi$ относительно физической и вспомогательной переменных z и ζ выглядят так:

$$\frac{dw}{dz} = V_0 e^{i\alpha} \frac{\theta_1(\zeta - id)}{\theta_1(\zeta + id)} \rightarrow \leftarrow \exp\left(i\frac{2\beta}{\pi}\zeta\right) \exp\left(ic \frac{\theta_1(\zeta)}{\theta_1(\zeta - h)}\right) \rightarrow \leftarrow \exp\left(-ic \frac{\theta_1(\zeta)}{\theta_1(\zeta + h)}\right); \quad (1)$$

$$\frac{dw}{d\zeta} = N \frac{\theta_1(2\zeta)\theta_1(\zeta - h)}{\theta_1(\zeta - \zeta_1)} \rightarrow \leftarrow \frac{\theta_1(\zeta + h)\theta_1(\zeta - id)\theta_1(\zeta + id)}{\theta_1(\zeta + \zeta_1)\theta_1(\zeta - \bar{\zeta}_1)\theta_1(\zeta + \bar{\zeta}_1)} \times \frac{1}{\theta_1(\zeta - \zeta_2)\theta_1(\zeta + \zeta_2)} \rightarrow \leftarrow \frac{1}{\theta_1(\zeta - \bar{\zeta}_2)\theta_1(\zeta + \bar{\zeta}_2)}; \quad (2)$$

где c – произвольный действительный параметр.

Тогда из формул (1) и (2) следует выражение для конформного отображения:

$$z(\zeta) = \int_{\pi/2}^{\zeta} \frac{dz}{d\zeta} d\zeta + z_E = \int_{\pi/2}^{\zeta} \frac{dw}{d\zeta} d\zeta + z_E. \quad (3)$$

В сформулированной задаче – 11 действительных переменных: $N, a, b, c, d, e, f, h, |\tau|$ (или $q = e^{-|\tau|}$), α_2, V_2 , если не считать, что значения величин σ_2, V_1 и z_F могут быть найдены из условий

$$\frac{dw}{dz} \left(\frac{\pi\tau}{2}\right) = V_1 e^{i\alpha}, \quad z\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi\tau}{2}\right) = z_F = l_F e^{-i(\alpha+\beta)}$$

$$\text{и} \quad \sigma_2 = \frac{V_0^2}{V_2^2} - 1.$$

Для оставшихся неизвестных можно сформулировать условия со следующими схематичными названиями: скорость набегающего потока (4.1), скорость за решеткой (4.2), условие для длины пластины (соответствие между физической и вспомогательной плоскостями для точки В) (4.3), условие для длины интерцептора (то же для точки А) (4.4), циркуляция в бесконечно удаленной точке C_1 (4.5), циркуляция за решеткой в точке C_2 (4.6).

$$\frac{dw}{dz}(\zeta_1) = V_\infty; \quad (4.1)$$

$$\frac{dw}{dz}(\zeta_2) = V_2 e^{-i\alpha_2}; \quad (4.2)$$

$$z(0) = z_B = l e^{i(\pi-\alpha)} = \int_{\pi/2}^0 \frac{dz}{d\zeta} d\zeta + z_E; \quad (4.3)$$

$$z\left(\frac{\pi}{2}\right) = z_A = \varepsilon e^{-i(\alpha+\beta)} = \int_{\pi/2}^{\pi/2} \frac{dz}{d\zeta} d\zeta + z_E; \quad (4.4)$$

$$\oint_{C_1} \frac{dz}{d\zeta} d\zeta = se^{i\alpha}; \quad (4.5)$$

$$\oint_{C_2} \frac{dz}{d\zeta} d\zeta = se^{i(\pi+\alpha)}; \quad (4.6)$$

причем условия (4.1), (4.2), (4.4), (4.5) и (4.6) содержат по два вещественных каждое.

Таким образом, для 11 неизвестных сформулировано 11 действительных условий, что дает систему, которая имеет единственное решение.

Особо отметим, что если положение точки E (величина $z_E = l e^{i(\pi-\alpha)}$) также является неизвестным, то решение может быть получено с использованием условия Бриллюена, предполагающего, что кривизна κ_1 на свободной поверхности (EF) и кривизна κ_2 на смоченной стороне пластины совпадают в точке схода застойной зоны E .

Кривизна κ контура определяется выражением: $\kappa = dv/ds$, где v задает направление касательной к контуру, а s – дуговая координата.

Пластина имеет нулевую кривизну в произвольной точке, поэтому то же самое выполнено на границе застойной зоны в точке E . Другими словами вторая производная для функции на границе застойной зоны равна нулю для координаты x . Это условие может быть записано в виде

$$\frac{dv}{d\zeta} \Big|_{z_E} = \frac{d}{d\zeta} \arg \frac{dw}{dz} \Big|_{z=\frac{\pi}{2}} = 0, \quad (5)$$

где $v = -\arg(dw/dz)$, а dw/dz определяется из (1).

Выражения для коэффициентов силы на пластине C_{F_p} и на интерцепторе C_{F_s} :

$$C_{F_p} = -\frac{i}{l}(1+\sigma) \times \left(z_B - z_E(1-\kappa_0) - \frac{1}{V_0^2} \int_{\pi/2}^0 \frac{dw}{d\zeta} \frac{d\bar{w}}{d\zeta} d\zeta \right),$$

$$C_{F_s} = -\frac{i}{l}(1+\sigma) \times \left(z_F(1-\kappa_0) - z_A - \frac{1}{V_0^2} \int_0^{\zeta_F} \frac{dw}{d\zeta} \frac{d\bar{w}}{d\zeta} d\zeta \right), \quad (6)$$

где $\zeta_F = \pi/2 + \pi\tau/2$ и $k_0 = 1 - V_1^2 / V_0^2$.

Полный коэффициент силы

$$C_F = C_D + iC_L = C_{F_p} + C_{F_s}.$$

Проблема решения системы сформулированных нелинейных уравнений для случая кавитационного обтекания решетки пластин с интерцептором становится особенно актуальной из-за

слишком большого числа уравнений и неизвестных.

При численном решении системы используется метод Ньютона, и предварительно решается задача о решетке кавитирующих пластин с интерцептором и замыканием каверны по схеме Тулина–Терентьева без застойной зоны.

Подробно численное решение для похожих задач разобрано в работах [2–3].

ЗАДАЧА ОБ ОБТЕКАНИИ РЕШЕТКИ ПЛАСТИН С ИНТЕРЦЕПТОРАМИ ПО СХЕМЕ КИРХГОФА

В случае задачи о суперкавитационном обтекании одиночной пластины с интерцептором при условии положительного числа кавитации каверна не может простираться до бесконечности, поскольку статическое давление в набегающем потоке и в бесконечности за телом больше, чем давление внутри каверны. Уменьшение числа кавитации влечет за собой увеличение размеров каверны и удаление от тела области ее замыкания. В пределе при $\sigma \rightarrow 0$ кавитационное течение совпадает со струйным обтеканием тел по схеме Кирхгофа. Следовательно, струйное обтекание препятствия можно рассматривать как кавитационное обтекание с бесконечно длинной каверной.

Применительно к решетке профилей схема Кирхгофа моделирует кавитационное обтекание лишь при вполне определенных для данной решетки числах кавитации

$$\sigma_0 = v_0^2 / v_\infty^2 - 1,$$

где v_∞ – это модуль скорости набегающего потока, а v_0 – модуль скорости за решеткой. Поэтому любое кавитационное обтекание может рассматриваться лишь для чисел кавитации $\sigma > \sigma_0$.

Для нахождения этого минимально возможного значения σ_0 обратимся к задаче обтекания решетки пластин с интерцепторами по схеме Кирхгофа. Основные исходные предположения и обозначения остаются такими же, как и для уже рассмотренной выше задачи.

Соответствие точек физической и вспомогательной области можно видеть на рис. 2.

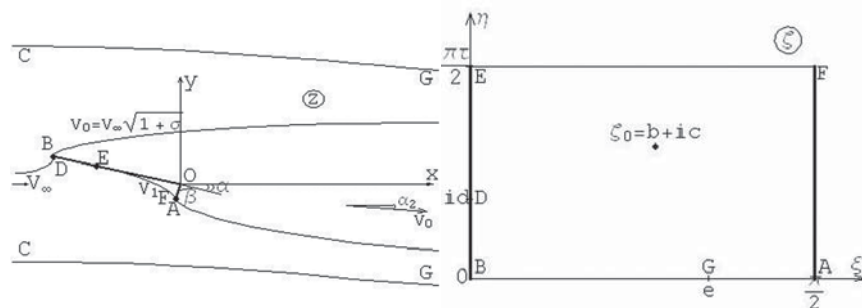


Рис. 2. К задаче обтекания по схеме Кирхгофа решетки кавитирующих пластин с интерцептором с образованием застойной зоны. Физическая и вспомогательная плоскости в пределах одного периода

Выражения для производных комплексного потенциала $w = \phi + i\psi$ относительно физической и вспомогательной переменных z и ζ выглядят так:

$$\frac{dw}{dz} = V_0 e^{i\alpha} \frac{\theta_1(\zeta - id)}{\theta_1(\zeta + id)} \exp\left(i \frac{2\beta}{\pi} \zeta\right);$$

$$\frac{dw}{d\zeta} = N \frac{\theta_1(2\zeta)\theta_1(\zeta - id)}{\theta_1(\zeta - e)\theta_1(\zeta + e)\theta_1(\zeta - \zeta_0)} \leftarrow \frac{\theta_1(\zeta + id)}{\theta_1(\zeta + \zeta_0)\theta_1(\zeta - \bar{\zeta}_0)\theta_1(\zeta + \bar{\zeta}_0)}; \quad (7)$$

В задаче – восемь действительных переменных: $N, b, c, d, e, |\tau|$ (или $q = e^{-|\tau|}$), α_2, V_0 . Для указанных неизвестных задачи можно сформулировать следующие условия.

$$\frac{dw}{dz}(\zeta_0) = V_\infty; \quad \frac{dw}{dz}(e) = V_0 e^{-i\alpha_2};$$

$$\oint \frac{dz}{d\zeta} d\zeta = se^{i\pi}. \quad (8)$$

Первое и третье условия содержат по два вещественных каждое. При добавлении к ним комплексных условий (4.3) и (4.4), которые дают три вещественных, получаем задачу с единственным решением.

Сформулированная система вновь решается при помощи метода Ньютона, начальные значения для которой находятся из решения задачи об обтекании по схеме Кирхгофа решетки кавитирующих пластин с интерцептором без застойной зоны.

Условие Бриллюена для нахождения положения точки E , а также формулы для коэффициента давления и полного коэффициента силы остаются такими же, как и для предыдущей рассмотренной задачи.

В заключение для задачи с застойной зоной остается выписать выражение для нахождения искомого значения числа кавитации σ_0 , которое является минимально возможным при рассмотрении кавитационного обтекания решетки пластин с интерцептором с образованием застойной зоны и замыканием каверны по схеме Тулина–Терентьева:

$$\sigma_0 = \frac{V_0^2}{V_\infty^2} - 1. \quad (9)$$

ЧИСЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Численные результаты для рассмотренных задач обтекания решетки кавитирующих пластин с интерцептором с образованием застойной зоны рассмотрены для двух случаев: без учета условия Бриллюена и с его учетом. Они представлены в виде графиков для силовых коэффициентов и значения величины l_E в зависимости от различных исходных данных (в зависимости от угла атаки α , числа кавитации σ , длины интерцептора ε/l и др.), а также в виде картин течения.

На рис. 3 можно видеть графики коэффициентов подъемной силы C_L и сопротивления C_D в зависимо-

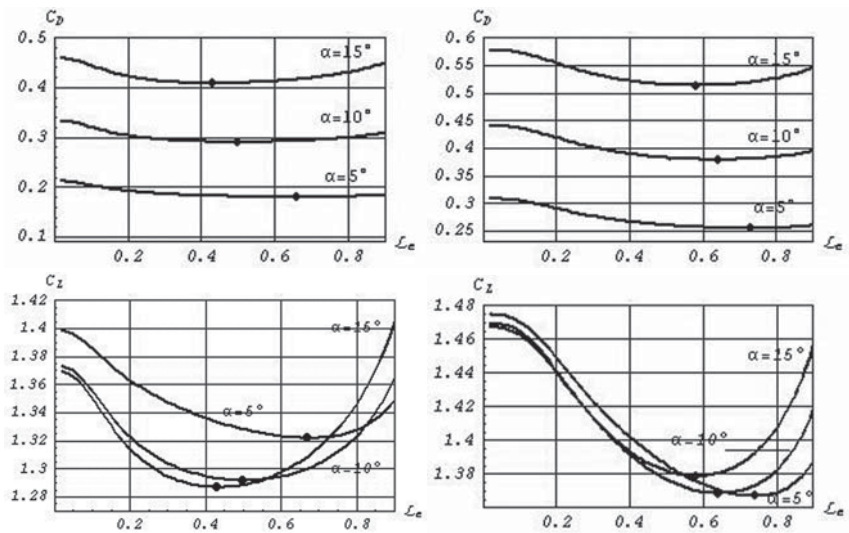


Рис. 3. Значения коэффициентов C_D и C_L в зависимости от положения точки l_E при $\beta = 90^\circ, \sigma = 1, \varepsilon/l = 0.05$ (слева) и $\varepsilon/l = 0.1$ (справа), периоде решетки $-4e^{i100}$ для углов атаки $\alpha = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$

ти от изменения координаты точки схода застойной зоны l_E для разных длин интерцептора $\varepsilon/l = 0.05$ (слева) и $\varepsilon/l = 0.1$ (справа) для значений угла атаки $\alpha = 5^\circ, 10^\circ$ и 15° , угла наклона интерцептора $\beta = 90^\circ$, при шаге решетки $s=4$ и угле выноса решетки $\Sigma = 100^\circ$. Из графиков видно, что для всех представленных исходных данных существует минимальное значение для коэффициентов C_L и C_D . Оказывается и практически подтверждается тот факт, что значения величины l_E , при котором достигаются указанные минимумы, соответствует случаю выполнения условия Бриллюена, откуда может быть найдено положение точки E .

На верхнем рис. 4 представлена картина течения для исходных параметров $\alpha = 10^\circ, \beta = 90^\circ, \sigma = 1, \varepsilon/l = 0.15, s=4$ и $\Sigma = 100^\circ$. В данном случае значение для точки l_E схода застойной зоны задано и равно 0,9. Условие Бриллюена не выполнено, и застойная зона пересекает

пластину. Заметим, что такая нефизичная картина течения получается во всех случаях, если исходное значение величины l_E превышает то, которое может быть получено при помощи условия Бриллюена. Если же l_E будет меньше данного значения, то в точке E будет происходить скачок аргумента скорости, что можно видеть при рассмотрении значений производной dw/dz .

Как уже было замечено, выполнение условия Бриллюена соответствует минимальному значению гидродинамических коэффициентов. Для исходных данных $\alpha = 10^\circ, \beta = 90^\circ, \sigma = 1, \varepsilon/l = 0.15, s=4$ и $\Sigma = 100^\circ$ можно найти эту координату точки схода застойной зоны. Точное численное значение $l_E \approx 0.699$.

Картина течения для рассмотренного случая с выполненным условием Бриллюена приведена на нижнем рис. 4. Застойная зона отходит от пластины по касательной.

Исходное значение для итоговой системы нелинейных уравнений для

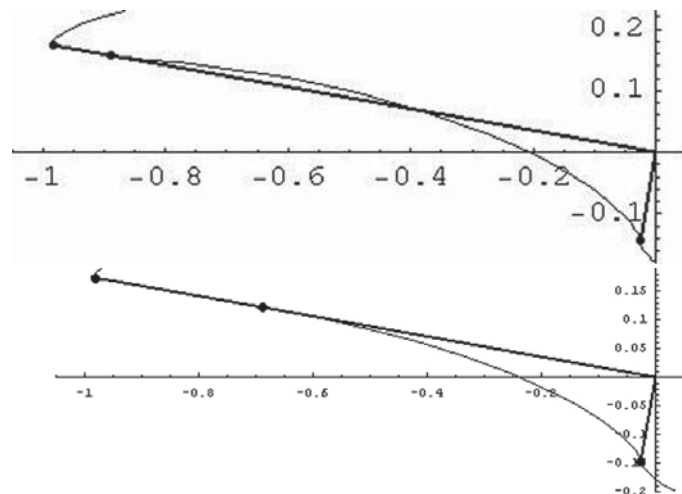


Рис. 4. Картина течения для исходных параметров $\alpha = 10^\circ, \beta = 90^\circ, \sigma = 1, \varepsilon/l = 0.15$ при периоде решетки $4e^{i100}$. Сверху: точка схода застойной зоны задана, $l_E = 0.9$ (условие Бриллюена не выполнено). Снизу: точка схода застойной зоны вычислена, $l_E \approx 0.699$ (условие Бриллюена выполнено)

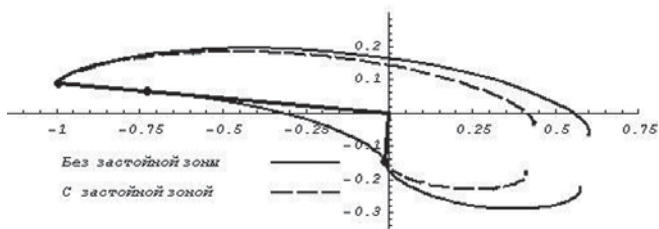


Рис. 5. Картина течения для исходных параметров $\alpha = 5^\circ$, $\beta = 90^\circ$, $\sigma = 1$ и при периоде решетки $7e^{i100}$. Каверна для случаев без застойной зоны (сплошная линия) и с застойной зоной (пунктирная линия)

основной рассматриваемой задачи обтекания кавитирующей пластины с интерцептором с образованием застойной зоны и замыканием каверны по схеме Тулина–Герентьева берется из решения аналогичной задачи без образования застойной зоны. И следующий рисунок демонстрирует, как влияет появление застойной зоны на картину течения. Из рис. 5 видно, при наличии застойной зоны длина каверны уменьшается примерно на 25% по сравнению со случаем, когда в точке O происходит скачок аргумента скорости. Результаты приведены для случая угла атаки $\alpha = 5^\circ$, угле наклона интерцептора $\beta = 90^\circ$, числа кавитации $\sigma = 1$, длины интерцептора $\varepsilon/l = 0.15$, шага решетки $s = 7$ и угла выноса решетки $\Sigma = 100^\circ$.

Следующие рисунки демонстрируют гидродинамические зависимости для значений коэффициентов сопротивления и подъемной силы, а также для рассчитанного значения координаты точки схода застойной зоны, то есть для случая, когда выполняется условие Бриллюена.

Можно ставить вопрос о влиянии на каверну параметров решетки. Это необходимо знать, чтобы понимать, насколько результаты для случая решетки пластин с интерцептором отличаются от задачи обтекания одиночной каверны с интерцептором.

Рис. 6 показывает зависимость коэффициента сопротивления C_D , коэффициента подъемной силы C_L и значения l_E для положения точки начала застойной зоны в зависимости от шага решетки s при заданных угле атаки $\alpha = 5^\circ$, угле наклона интерцептора $\beta = 90^\circ$, угле выноса решетки $\Sigma = 100^\circ$ для длин интерцептора $\varepsilon/l = 0.05; 0.1; 0.15$ для значения числа кавитации $\sigma = 0.5$. Из рисунков видно, что расчеты произведены для разных значений шага решетки в зависимости от различных исходных данных. Однако при слишком малых значениях s картина течения не может быть построена, так как решетка оказывается слишком «сжатой», и вычисления становятся невозможными. Напротив же, при больших значениях шага решетки

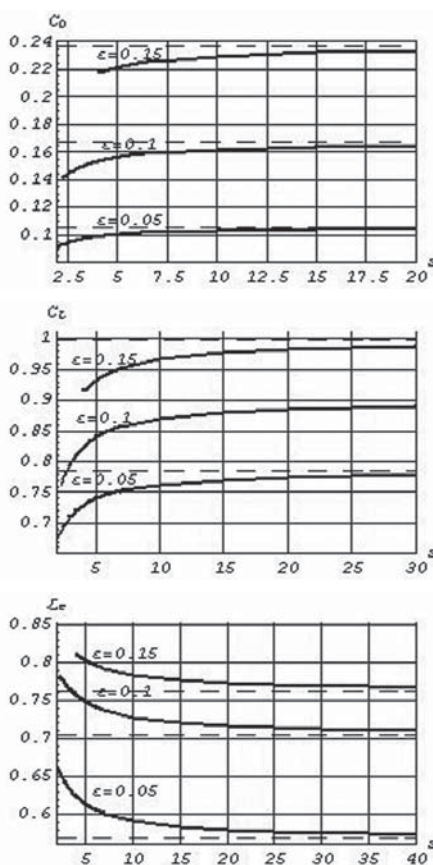


Рис. 6. Значения коэффициентов C_D , C_L и величины l_E в зависимости от шага решетки s при заданных угле атаки $\alpha = 5^\circ$, угле наклона интерцептора $\beta = 90^\circ$, угле выноса решетки $\Sigma = 100^\circ$ для длин интерцептора $\varepsilon/l = 0.05; 0.1; 0.15$ для значений числа кавитации $\sigma = 0.5$

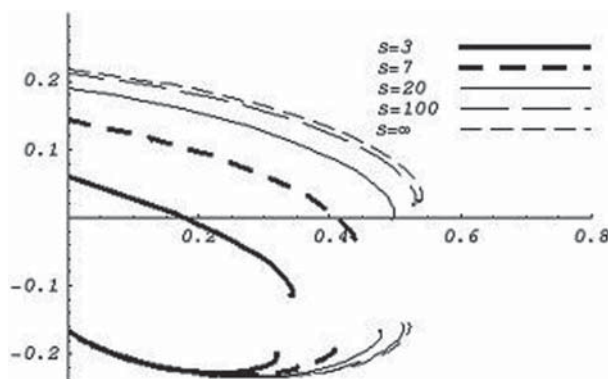


Рис. 7. Области замыкания каверны для исходных параметров $\alpha = 5^\circ$, $\beta = 90^\circ$, $\sigma = 1$ при угле выноса решетки $\Sigma = 100^\circ$ для различных значений шага решетки

для каждого случая существует горизонтальная асимптота, обозначенная пунктирной линией и соответствующая значению того или иного параметра для бесконечного значения шага решетки, то есть для случая задачи обтекания одиночной пластины с интерцептором.

Влияние величины шага решетки на вид каверны можно видеть из рис. 7, на котором приведены области замыкания каверны при угле атаки $\alpha = 5^\circ$, угле наклона интерцептора $\beta = 90^\circ$, числе кавитации $\sigma = 1$, длине интерцептора $\varepsilon/l = 0.15$, угле выноса решетки $\Sigma = 100^\circ$ для значений шага решетки $s = 3, 7, 20, 100$ и ∞ . Рисунок демонстрирует тенденцию приближения с увеличением значения s формы каверны к случаю одиночной пластины с интерцептором.

На рис. 8 показаны зависимости гидродинамических коэффициентов и положения точки E в зависимости от угла атаки α при заданных угле наклона интерцептора $\beta = 90^\circ$, числе кавитации $\sigma = 1$, периоде решетки $7e^{i100}$ для различных длин интерцептора $\varepsilon/l = 0.05, 0.1$ и 0.15 . Расчеты проведены до максимально возможных с вычислительной точки зрения значений угла атаки.

Связь между задачами кавитационного обтекания и обтекания по схеме Кирхгофа решетки пластин с интерцепторами с образованием застойной зоны можно видеть на рис. 9. Здесь приведены значения гидродинамических коэффициентов и величины l_E в зависимости от числа кавитации σ при заданных угле атаки $\alpha = 5^\circ$, угле наклона интерцептора $\beta = 90^\circ$, периоде решетки $3e^{i100}$ для различных длин интерцептора $\varepsilon/l = 0.05, 0.1$ и 0.15 .

Как уже было замечено, для задач кавитационного обтекания решеток существует минимально возможное число кавитации, которое соответствует наличию каверны бесконечной длины. Это минимальное значение числа кавитации σ_0 имеется для каждого приводимого на рисунке графиче-

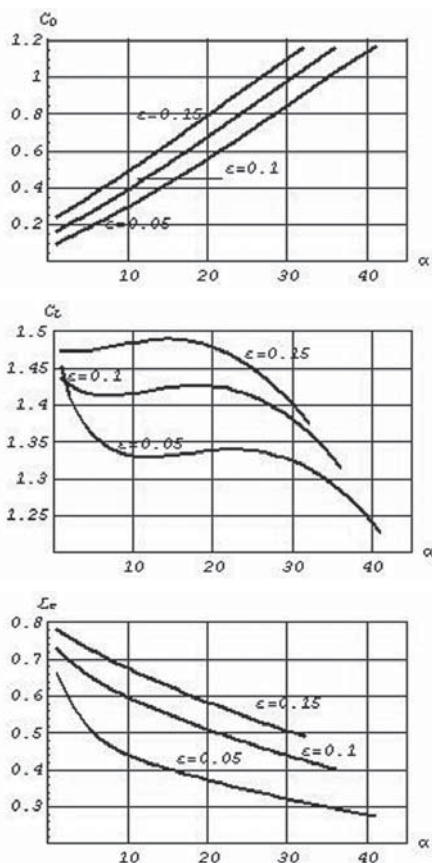


Рис. 8. Зависимости коэффициентов C_D , C_L и величины L_E от угла атаки α при заданных $\beta = 900$, $\sigma = 1$, периоде решетки $7e^{i100}$ для различных длин интерцептора $\epsilon/l = 0.05, 0.1$ и 0.15

ках. Расчеты прерываются на значениях, показанных на всех трех графиках пунктирными линиями, которые соответствуют числам кавитации, найденным при решении задачи обтекания решетки пластин с интерцепторами по схеме Кирхгофа для тех же исходных параметров при изменяющихся заданных длинах интерцептора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье была подробно рассмотрена задача кавитационного обтекания решетки пластин с интерцепторами с образованием застойной зоны. Для замыкания каверны была использована схема Тулина–Терентьева (с образованием двух быстросходящихся спиралей). Также рассмотрена связанная с первой задачей обтекания по схеме Кирхгофа решетки пластин с интерцепторами с образованием за-

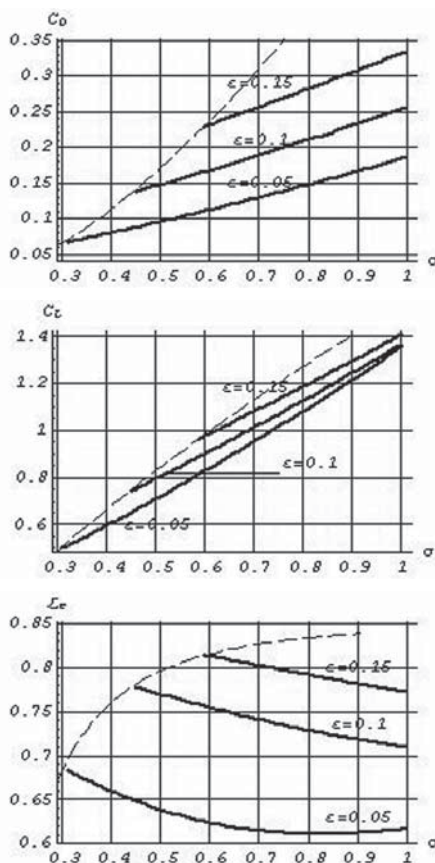


Рис. 9. Зависимости коэффициентов C_D , C_L и величины L_E от числа кавитации σ при заданных $\alpha = 50$, $\beta = 900$, периоде решетки $3e^{i100}$ для различных длин интерцептора $\epsilon/l = 0.05, 0.1$ и 0.15

стойной зоны. Для теоретического решения задач использован метод особых точек Чаплыгина. При численной реализации показан подход к поиску начальных значений для используемого при решении задач метода Ньютона для решения больших систем нелинейных уравнений. Численные результаты получены для широкого диапазона исходных параметров течения. Показано, что давление внутри застойной зоны может быть найдено при использовании условия Бриллюена о гладком сходе застойной зоны с поверхности пластины. Численно продемонстрировано, что при выборе положения точки E коэффициенты сопротивления и подъемной силы достигают экстремума именно в точке, где выполняется условие схода каверны с поверхности пластины по касательной. Степанов был первым, кто

установил данный факт для различных видов свободных поверхностей [4]. Из результатов также видно, что при увеличении шага решетки задача переходит в аналогичную для одиночной пластины с интерцептором. Численный анализ показывает, что решение задачи обтекания по схеме Кирхгофа приводит к значению числа кавитации, которое является минимально возможным при решении задачи с замыканием каверны по схеме Тулина–Терентьева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fridman G. M. and Maklakov D. V. Free streamline flow past a non-symmetric wedge with stagnation zone. – Proceedings of The International Summer Scientific School «High Speed Hydrodynamics» (HSH'2002). – Cheboksary, 2002. – P. 399–406.
2. Fridman G. M. and Uryadov A. K. Cavitating flat plate with stagnation zone in the spoiler vicinity. – Proceedings of The Second International Summer Scientific School «High Speed Hydrodynamics». – Cheboksary, 2004. – P. 83–90.
3. Fridman G. M. and Uryadov A. K. Cavitating hydrofoil in a cascade with stagnation zone in the spoiler vicinity. – Proceedings of The Third International Summer Scientific School «High Speed Hydrodynamics». – Kemerovo, 2006. – P. 221–228.
4. Гогуш Л. В., Степанов Г. Ю. Кавитационные и отрывные течения. – М.: Наука, 1990.
5. Гуревич М. И. Теория струй идеальной жидкости. – М.: Наука, 1979.
6. Справочник по малотоннажному судостроению / Состав. Б. Г. Мордвинов. – Л.: Судостроение, 1987.
7. Терентьев А. Г. Обтекание решетки пластин с развитой кавитацией // Изв. АН СССР. – Сер.: МЖГ. – 1967. – № 2.
8. Чаплыгин С. А. К вопросу о струях в несжимаемой жидкости. – Тр. отд. физ. наук Об-ва любителей естествознания, 1899, т. X, вып. 1.
9. Что такое транцевый интерцептор? / В Баснин, И. Нагайбеков, М. Буньков, Г. Охрименко, С. Соловей // Катера и яхты. – 1984. – №5(111). – С. 12–15. ■

А для современной бизнес-среды характерны географически распределенные команды, использование сложных технологий, растущая конкуренция, необходимость снижения расходов и сокращение сроков вывода продукции на рынок. В этой ситуации качество продукции приобретает первостепенное значение. Почти во всех компаниях в той или иной степени работают люди, отделы, отвечающие за повышение качества выпускаемой продукции. Но, к сожалению, этим вопросам не всегда уделяется должное внимание.

- Как оптимизировать процесс планирования качества и надежности изделия?

- Как наладить систематизированный процесс анализа рисков продукции?

- Как проводить контроль продукции на предмет соответствия требованиям?

- Как гарантировать характеристики изделия во время процессов производства, сборки, установки и обслуживания?

- Как наладить процесс мониторинга, сбора и анализа данных по неисправностям во время тестирования продукции?

- Как проводить аудит качества продукции?

- Как эффективно использовать опыт, полученный из тестовых и полевых испытаний, для предотвращения новых ошибок по качеству?

QLM (QualityLifeManagement), или «Управление жизненным циклом качества», является кросс-функциональным решением на уровне всего предприятия, которое обеспечивает соответствие качественных характеристик, надежности и безопасности изделия требованиям, установленным для изделия на этапе его разработки. Концепция QLM связывает работу различных команд в организации, которые отвечают за те или иные аспекты качества изделий в течение всего жизненного цикла. И что важно – признает, что управление качеством не ограничивается исключительно качеством продукта, т.е. организационные процессы могут оказывать влияние или воздействие на качество продукта, поэтому их необходимо выстроить таким образом, чтобы обеспечить эффективность, автоматизацию, повторяемость и возможность контроля.

Сегодня многие компаний используют множественные «разрозненные» решения, принятые в различных департаментах, отвечающих за разные аспекты качества, надежности и безопасности изделий. Очень важно,

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК, НАДЕЖНОСТЬЮ И БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРОДУКЦИИ

ООО «Ирисофт»,

контакт. тел. (812) 325 4335

PTC International,

контакт. тел. 8 (499) 973 9597

чтобы такие инструменты были согласованы, во избежание пересечения процессов и, как следствие, неэффективного излишнего объема работ, качественных ошибок и для получения целостной картины о качестве продукта.

Используя несколько отдельных узконаправленных видов программных обеспечения для хранения информации по качеству, надежности, безопасности и рискам по одному конкретному аспекту качества или конкретной стадии разработки, невозможно получить целостную картину качества изделия на всех этапах его жизненного цикла. Если данные инструменты не согласованы, то ключевые аспекты качества не соотносятся друг с другом на последующих этапах их жизненного цикла, а если это и происходит, то согласование осуществляется на основе неэффективных, трудоемких и подверженных неточностям ручных процессов. При отсутствии согласованности информации по качеству и высокой прозрачности в управлении показателями качества трудно заметить критически важные ошибки и отследить ключевые требования. В результате компании страдают от последствий.

РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА

Проактивное конструирование качественного изделия. Анализ качества, надежности и безопасности, проведенный на ранней стадии во время планирования и проектирования изделия, может предотвратить дорогостоящие переделки, ремонт, гарантийное обслуживание/замену и изъятие продукта из оборота в будущем. Не секрет, что изменения в конструкции изделия, внесенные на стадиях производства, стоят намного больше, чем на ранних стадиях проектирования.

На этапе проактивного проектирования использование решения QLM позволяет просчитать риски и вероятности брака изделий. Система использует источники статистических данных, что позволяет делать точные прогнозы.

Комплексное планирование качества. По сути QLM необходимо начинать на самых ранних этапах стадии планирования разработки изделия, когда четко определяются требования к качественным характеристикам, надежности и безопасности продукта прежде, чем сам продукт появится физически. Данный подход позволяет еще на подготовительном этапе просчитать риски и передать соответствующие задачи в отделы, отвечающие за тестирование, производство, обслуживание, что в свою очередь позволяет гарантировать, что на каждом этапе жизненного цикла изделие будет отвечать стандартам качества, определенным на этапе планирования. Планирование качества включает в себя:

- определение и сопоставление требований к функциональности, безопасности, эксплуатации и стоимости изделия;

- анализ надежности и рисков, связанных с продуктом на предмет выдвинутых к изделию требований на раннем этапе системного проектирования с целью выявления и корректировки потенциальных проблем качества;

- определение необходимых тестовых испытаний и разработка плана тестирования с учетом затрат и ресурсов;

- установление контроля для снижения или устранения потенциальных рисков в процессе производства, сборки и установки;

- планирование сервисных услуг и обслуживания для гарантии качества во время эксплуатации продукта;

- определение механизма получения обратной связи во время тестирования эксплуатационных качеств и безопасности изделия;

- эффективный, автоматизированный и контролируемый способ передачи плана по качеству всем отделам, задействованным в его выполнении.

- установление системы обратной связи от отдела исполнения стандартов качества с целью контроля выполнения требований;

- доработку плана по качеству с учетом полученной обратной связи с других этапов жизненного цикла изделия.

Выполнение плана по качеству. Такие этапы жизненного цикла изделия, как тестирование, производство и обслуживание, должны отвечать требованиям и стандартам, установленным в плане. Концепция QLM обеспечивает получение постоянного мгновенного потока информации о качестве изделия между отделами, ответственными за конструирование, тестирование, производство и обслуживание.

Интеграция процессов управления качеством. План тестирования, разработанный на этапе планирования качества, включает технические характеристики, проходные требования «годен/не годен», необходимые ресурсы и график, и передается посредством интегрированного программного решения команде, отвечающей за тестирование изделия. По завершении тестирования результаты передаются таким же образом обратно в отдел проектирования, предоставляя конструкторам информацию о прохождении или не прохождении тестирования.

Подобным образом во время процесса планирования качества определяются критически важные характеристики изделия, чтобы выявить, какие процессы производства, сборки или установки могут иметь риски для качества, надежности и безопасности продукта. Для контроля этих процессов и защиты качества изделия создаются специализированные планы по контролю производства непосредственно командами разработчиков и производителей с помощью интегрированного программного обеспечения. В данных планах указаны критерии, допуски, инструкции по работе и сборке и т.д., гарантируя, что изделие отвечает строгим требованиям к качеству, установленным на стадии планирования.

И наконец, планируемые действия по обслуживанию, разработанные как часть этапа планирования качества при проектировании изделия, транслируются команде, ответственной за обслуживание продукта. Как только

обнаруживаются действия, которые могут либо улучшить, либо снизить надежность продукта, создаются и передаются соответствующие инструкции или внедряются соответствующие планы обслуживания. Анализ важных затрат, проведенный на этапе планирования качества, дает информацию о таких действиях, как обслуживание, покупка запасных частей и т.д. для оптимизации стоимости и качества.

РЕШЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА

Повышение качества должно быть постоянным непрерывным процессом на протяжении всего жизненного цикла изделия. Важная информация, полученная по результатам тестирования, несоответствия, выявленные на этапе производства, и поведение продукта во время эксплуатации, – все это является ключевой информацией для улучшения качества текущей и последующей модели изделия.

Обратная связь. При получении обратной связи важно не ограничивается только показателями качества. Концепция использования QLM предполагает по мере проведения тестирования, производства изделия и обслуживания на каждом из этапов получение достоверных результатов в унифицированной форме с помощью гибкого программного решения, которое аккумулирует большой объем информации по неисправностям и поломкам в едином источнике.

Определение корректирующих / превентивных мер. Как только обозначены аспекты качества, их можно усовершенствовать с помощью программного решения замкнутого типа, которое охватывает весь задействованный персонал предприятия. Все вопросы качества проходят строгий процесс проверки и оценки для выявления уровня критичности, корня причины, а также корректирующих или превентивных мер для решения проблем в текущих и будущих моделях.

Применение наилучших практик и полученного опыта. Определение корректирующих или превентивных мер для одновременного решения вопроса качества недостаточно. Использование опыта и лучших практик позволяет сформировать базу для дальнейшего эффективного улучшения продуктов и услуг текущего и следующего поколения. Использование QLM позволяет централизованно хранить эту информацию и в дальнейшем благодаря интеграции программного обеспечения транслировать ее напрямую на необходимый этап жизненного цикла изделия: планирование, проек-

тирование, тестирование, производство или обслуживание.

РЕШЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Управление качеством на уровне руководства компании. Как и любая другая крупная бизнес-инициатива, QLM становится эффективным инструментом только при поддержке ее внедрения со стороны руководства компании. Только при внедрении системы стандартов и руководств по всей организации, дальнейшего контроля эффективности мер по улучшению качества и регулярной передачи результатов аудита ключевым руководителям организации можно говорить, что управление качеством управляет бизнес-процессами, а это гарантирует высокий уровень продукта.

Для руководителя компании важно понять, где находится тот баланс цена/качество, к какому результату может привести снижение затрат на качество. Использование QLM позволяет этот баланс рассчитать и контролировать. Часто к управлению качеством существуют дополнительные требования, вызванные необходимостью придерживаться таких систем качества, как SixSigma, APQP, CMMI, и ISO9000 / 9001. Зачастую с этим сталкиваются различные регулируемые отрасли, например, медицина. Программные решения, которые интегрируются в рамках QLM, являются инструментом для соблюдения данных систем качества.

QLM уникально сочетает в себе решения по планированию, исполнению, усовершенствованию и управлению качеством в едином информационном пространстве, гарантируя, что все уровни организации оборудованы инструментами для управления и улучшения качества изделия.

КАЧЕСТВО И ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЯ: ВЗАИМОСВЯЗЬ С PLM (УПРАВЛЕНИЕМ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ)

PLM-система, или «Управление жизненным циклом изделия», разработана для управления всеми процессами жизнедеятельности изделия от идеи до утилизации. И поскольку вопрос качества продукта по идеи должен быть актуален и доступен практически на всех стадиях жизненного цикла для всех ключевых задействованных лиц, QLM является естественным продолжением PLM.

Единый источник достоверной информации. Решения для управления качеством, интегрируются с PLM решением, предоставляют компаниям

единый источник достоверной информации об изделии, что объединяет важную информацию по разработке изделия с критически важной информацией о качестве на каждом этапе жизненного цикла.

Высокая прозрачность. Имея информацию о продукте, в том числе и данные о качестве, в единой легко доступной базе данных, члены одной команды, локальной или территориально распределенной, имеют доступ к необходимой им информации, что помогает принимать решения на всех уровнях, затрагивающих качество продукта: от разработки изделия до менеджмента высокого уровня.

Критическая информация. Информация, имеющая отношение к потенциальным рискам, важна для процесса проектирования или перепроектирования изделия. Таким же образом, последняя информация о конструкции изделия важна для проведения эффективного тестирования. А без получения важной обратной связи по результатам тестов невозможно откорректировать конструкцию для устранения ошибок, выявленных при тестировании. И так

далее по всей цепочке жизненного цикла изделия. Разработка изделия похожа на ткань с вытканым узором, где каждый последующий этап связан с предыдущими результатами. Создание этих динамичных, интерактивных и автоматизированных связей по всей организации является ключом к принятию важных решений на всех уровнях: от конструкторов до руководителей.

Совместимость. Поскольку качество изделия дорабатывается в процессе его разработки, то это напрямую связано с изменениями в ведомости материалов в PLM. Дополнительная интеграция обеспечивает взаимосвязь с альтернативными системами PLM и другими программными продуктами, используемыми на предприятии.

Масштабность. Автономные решения по качеству могут использоваться для анализа рисков, надежности и/или качества. Решения, принятые на уровне целого предприятия, помогают компании управлять различными аспектами качества изделия интегрировано. Наконец, решения для управления качеством могут быть встроены

в глобальную систему PLM, что позволит выявить важные грани качества в процесс разработки продукта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Управление качеством и надежностью – важный аспект разработки изделия. Разработка продукта является набором высоко кросс-функциональных и распределенных процессов, которые затрагивают весь жизненный цикл изделия от планирования до последующей поддержки.

QLM затрагивает практически все стадии жизненного цикла изделия и такие функции в организации, как:

- планирование надежности, удобства эксплуатации и безопасности изделия;
- управление, снижение или устранение продуктовых рисков;
- проверка и подтверждение качества изделия и процесса во время тестирования, производства, обслуживания и эксплуатации;
- усовершенствование моделей следующего поколения на основе анализа эксплуатационных качеств и информации, полученной на всех этапах жизненного цикла изделия. ■

В первой декаде марта этого года в Лондоне побывала делегация РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова во главе с его президентом, профессором В.Л. Александровым. Одной из главных целей визита было участие в заседании исполнительного и программного комитетов Всемирной морской технологической конференции (WMTC2012, www.wmtc2012.org), намеченной к проведению в Санкт-Петербурге на 29 мая – 1 июня 2012 г.

WMTC2012 станет четвертой в серии глобальных морских инженерных конференций, стартовавшей в Сан-Франциско в 2003 г. по инициативе судостроителей США. Эстафету приняли Лондон в 2006 и Мумбай – в 2009 г.

Конференцию, получившую поддержку правительства Российской Федерации и Морского совета при губернаторе Санкт-Петербурга и запланированную под эгидой «Объединенной судостроительной корпорации», организует РосНТО им. акад. А.Н. Крылова в партнерстве с известной британской компанией «Reed Exhibitions». Тематика конференции охватывает: судостроение и судоходство, военно-морской инжиниринг, до-

ВИЗИТ ДЕЛЕГАЦИИ РОССИЙСКОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА СУДОСТРОИТЕЛЕЙ В ЛОНДОН

К.В. Рождественский, проф., з.д.науки РФ, проректор СПбГМТУ, заместитель председателя Оргкомитета WMTC2012, контакт. тел. (812) 714 2923

бычу углеводородов на шельфе, морские инженерные системы, оперативную океанографию, экологию океана, возобновляемые источники энергии, подводные аппараты.

В заседании в Лондоне приняли участие представительная российская делегация под руководством профессора В.Л. Александрова, ректор Санкт-Петербургского университета водных коммуникаций С.О. Барышников, иностранные члены комитета – директор Раффлз Энерджи Лтд, экс-директор компании «Маэрс» Алан Грант, директор группы Сто-

барт, Президент палаты судоходства Великобритании и председатель «Мэритайм Юкей» Джеспер Кьядергаард, представитель компании «Синтефф» (Норвегия) Чел Холден, заместитель исполнительного директора Общества подводных технологий Великобритании Иан Галлет, представители Института морского инжиниринга, науки и технологии и «Reed Exhibitions». Заседание открыли профессор В.Л. Александров и руководитель отдела энергетики и морской промышленности «Reed Exhibitions» Джастин Тадман.



Участники заседания исполкома WMTC2012 в зале Britannia Британского ИМИНТ, Лондон

В ходе встречи обсуждались тематика пленарных и секционных докладов, формат представления материалов, участие в работе комитета представителей других стран и континентов. Большое внимание было уделено привлечению к участию в конференции молодых специалистов отрасли. В связи с намеченным на первый день конференции Форумом молодых морских лидеров обсуждалась возможность продвижения информации о конференции в социальных сетях. Следующее заседание исполнительного и программного комитетов намечено на начало октября 2011 г.

10 марта на Общем собрании ИМИНТ выдающемуся судостроителю, профессору кафедры проектирования СПбГМТУ Ю.Н. Кормилицину был вручен сертификат действительного члена этого крупнейшего международного профессионального научно-технического учреждения. ■



Президент ИМИНТ контр-адмирал Нигел Гилд вручает сертификат действительного члена Института профессору Ю.Н. Кормилицину

Двенадцатый морской министр (управляющий Морским министерством), генерал-адъютант, адмирал, член Государственного Совета, почетный член конференции Николаевской морской академии, путешественник, исследователь Амура и Татарского пролива, Николай Матвеевич Чихачев родился 29 (17) апреля 1830 г. в селе Добрывичи Новоржевского уезда, Псковской губернии (ныне – деревня Добрывичи Бежаницкого района Псковской области). Отец его – капитан 2 ранга Матвей Николаевич Чихачев, из потомственных дворян Псковской губернии. Селение Добрывичи располагалось на живописном берегу р. Уда и состояло в позапрошлом веке всего из пяти дворов и четырех десятков жителей. Здесь и прошли ранние годы Николая. В одиннадцать лет (21 февраля по стар. ст. 1841 г.) мальчика определили в Морской кадетский корпус в Санкт-Петербурге. С этого времени вся жизнь Николая Матвеевича была связана с императорским флотом России.

6 сентября (25 августа) 1846 г. он стал гардемаринном, а в 1848 г. успешно окончил Морской корпус с производством 25 (13) июня того же года в мичманы (ему было 18 лет) и назначением на Балтийский флот, в 4-й флотский экипаж на новый 48-орудийный парусновинтовой фрегат «Архимед» (*первый русский винтовой фрегат. Построен в 1848 г. Водоизмещение – около 2400 т. В октябре 1850 г. во время шторма разбился на камнях близ о. Борнхольм*). До этого назначения Николай Матвеевич в 1848 г. плывал на 84-пушечном парусном корабле «Лефорт» и 44-пушечном парусном фрегате «Церера» (фактически на последнем было 54 орудия).

Осенью 5 октября (23 сентября) 1850 г. Николай Матвеевич выходит из Кронштадта в море на 20-пушечном корвете «Оливуца» под командой нового командира капитан-лейтенанта И. Н. Сущева. Корвет направлялся на Тихий океан для крейсерства в Охотском море с целью охраны дальневосточных рубежей России. По инструкции он должен был побывать в зимовье Петровском (устье Амура), оказать помощь начинавшейся Амурской экспедиции, а затем находиться в Петропавловске-Камчатском в распоряжении военного губернатора Камчатки генерал-майора В. С. Завойко. В те годы участилось браконьерство англичан и американцев, их суда вели промысел китов в Охотском море, у берегов Камчатки и Русской Америки. Кроме того, китобой вырубали ценные породы деревьев на ма-

ДВЕНАДЦАТЫЙ МОРСКОЙ МИНИСТР ИМПЕРАТОРСКОГО ФЛОТА РОССИИ АДМИРАЛ Н. М. ЧИХАЧЕВ

С. П. Сирый, проф., капитан 1 ранга запаса, председатель военно-исторической секции Дома ученых РАН, председатель секции истории Российского флота и историограф СПб МС, заслуженный работник высшей школы России, контакт. тел. (812) 4319423



лонаселенных берегах, притесняли местных жителей.

Россия имела на Дальнем Востоке Охотскую флотилию, но она была малочисленной, суда небольшие и слабо вооруженные. Сказывалось также отсутствие промышленности на этой окраине России.

За время перехода мичман Н. Чихачев получил опыт океанских плаваний и значительно углубил свои судоводительские знания. Неожиданно для всей команды Николай Матвеевич подает рапорт командиру корабля капитан-лейтенанту И. Н. Сущеву с просьбой отчислить его в распоряжение капитана 1 ранга Г. И. Невельского. (Доказательств прямых не осталось, но, видимо, руку к принятию этого решения приложил Николай Бошняк, с которым они в один год заканчивали Морской кадетский корпус. Теперь в Амурской экспедиции насчитывалось трое морских офицеров, прошедших полный курс обучения в корпусе, а значит, можно было планировать широкую программу научных исследований края, расширить сферу действий экспедиции). Просьба Н. Чихачева была удовлетворена, и он вошел в состав секретной Амурской экспедиции Н. И. Невельского.

Г. Невельской отправил Николая Матвеевича и топографа подпоручика

Л. А. Попова на байдаре в южную часть лимана, в Южный пролив для ведения детальной съемки пролива и попутных географических, гидрографических и иных исследований. Возвратились они в Петровское на вельботе, оставив байдару в Николаевском посту. Л. Попов произвел подробную съемку берега, а Н. Чихачев ознакомился с условиями плавания, делал промеры, собирал сведения о местном населении.

В конце сентября 1851 г. Н. Чихачева и активного участника экспедиции доктора Д. И. Орлова послали на шестивесельной шлюпке исследовать левый большой приток Амура – Амгунь. На этой шлюпке они поднялись вверх до селения Кервет и 15 (3) октября возвратились с задания. Тем не менее их непродолжительная разведка имела большое значение, так как было установлено, что р. Амгунь на пройденном расстоянии судоходна, а жители по берегам реки и ее притоков независимы и ясак никому не платят. Туземцы принимали Н. Чихачева и Д. Орлова весьма радушно и жаловались на то, что манджуры, приезжающие к ним для торговли, обманывают их и «производят различные бесчинства». Кроме того, были привезены рапорты от Н. К. Бошняка (*В 1853 г. исследовал западный берег Татарского пролива и открыл гавань Хаджи (ныне – Советская гавань)*). *Первым из русских исследователей сообщил о месторождении каменного угля на Сахалине, частично произвел перепись населения острова*), благоустроившего Николаевский пост (впоследствии Николаевск-на-Амуре). Они рассказали о том, что в Николаевском посту для будущих строений успешно заготавливается лес, уже построены две земляные юрты, крытые поверх досок дерном, действует и небольшая, самая настоящая баня.

30 (18) ноября Н. Чихачев отправился вместе с А. П. Березиным (приказчик Российско-Американской компании) и местным жителем Афанасием в очередное плавание, чтобы развеять течение Амура выше Николаевского

поста. По слухам, Амур около селения Кизи очень близко подходил к морскому берегу, это важное обстоятельство и необходимо было проверить. 3 декабря (22 ноября) они прибыли в селение Тыр и отсюда начали съемку «неописанных берегов Амура». «Карту оной, – докладывал Н. Чихачев, – имею честь представить Вашему высокоблагородию... и карты описанных мною озер Кизи, Ореля, Чля, дороги от озера Кизи до пролива Де-Кастри и берегов р. Амгуни».

Н. Чихачев и А. Березин успешно выполнили задание и 2 января 1852 г. (20 декабря 1851 г.) возвратились обратно. Н. Чихачев выяснил, что на побережье Татарского пролива имеются заливы, связанные с правобережьем Амура, несколькими путями, а в десятидневном переходе к югу от Нангмара есть удобная бухта, от которой идет перевал на реку Уссури. Также он установил, что местные жители неподвластны Китаю.

2 февраля (21 января) 1853 г. Николай Матвеевич был награжден орденом Св. Владимира 4-й степени, а через семь дней, 9 февраля (28 января), произведен в лейтенанты. 24 февраля (по стар. ст.) 1854 г. Николай Матвеевич назначен старшим офицером на корвет «Оливуца», а 5 мая (23 апреля) командиром транспорта «Иртыш» и исправляющим должность капитана над портом и заведующим постройкой укреплений в Петропавловске (шла Крымская [Восточная] война 1853–1856 гг.). Здесь-то и принял молодой офицер боевое крещение, проявив мужество и хладнокровие во время эвакуации гарнизона Петропавловска весной 1855 г. в устье Амура.

10 апреля (29 марта) 1855 г. Н. Чихачев был назначен командиром 10-пушечного транспорта «Двина», а 31 (18) июля – командиром корвета «Оливуца». С 23 (11) сентября капитан-лейтенант Н. Чихачев – дежурный штаб-офицер сухопутных и морских сил, расположенных на Амуре. 26 (14) декабря Николай Матвеевич назначен состоять по особым поручениям при генерал-губернаторе Восточной Сибири Н. Н. Муравьеве.

7 сентября (26 августа) 1856 г. Н. Чихачев награжден орденом Св. Станислава 2-й степени с императорской короной и бронзовой медалью на Андреевской ленте в память о войне 1853–1856 гг. 8 декабря (26 ноября) этого же года Николай Матвеевич – уже исправляющий должность начальника штаба Сибирской флотилии портов Восточного океана. 18 (6) декабря ему было объявлено монаршее благоволение за отличное исполнение возложенного на него поручения. В 1857 г. Николай



На фрегате «Светлана»

Матвеевич – командир парусно-парового 8-пушечного парохода «Америка». Командуя им, Н. Чихачев совершил в июле 1857 г. плавание из Николаевска в Шанхай с вице-адмиралом графом Е. В. Путятиным на борту, во время которого были открыты заливы Ольги и Владимира.

14 (2) июня 1858 г. Н. Чихачева производят в капитаны 2 ранга, а 1 ноября (20 октября) назначают командиром парового 11-пушечного корвета «Вол» с зачислением в 5-й флотский экипаж Балтийского флота. 30 (18) января 1860 г. Николая Матвеевича назначают командиром 40-пушечного винтового фрегата «Светлана», а 10 сентября (29 августа) производят в капитаны 1 ранга. 19 (7) ноября Н. Чихачев – уже адъютант императорскому высочеству генерал-адмирала Константина Николаевича. 24 (12) июля 1861 г. Николаю Матвеевичу объявлено монаршее благоволение за труды во время плавания в составе эскадры на Китайское море.

Осенью того же года его назначают временно исправляющим должность начальника штаба Главного командира Кронштадтского порта.

26 (14) марта 1862 г. Н. Чихачев – директор Русского общества пароходства и торговли (РОПиТ) с оставлением в звании адъютанта генерал-адмирала Константина Николаевича.

26 (14) января 1863 г. его награждают орденом Св. Анны 2-й степени с императорской короной. 13 (1) января 1864 г. ему объявлено монаршее благоволение за «отлично-полезные труды» по званию директора РОПИТ. 16 (4) апреля 1865 г. Николай Матвеевич награжден орденом Св. Владимира 3-й степени.

27 (15) октября 1867 г. за отличие по службе Николай Матвеевич произведен в контр-адмиралы. 11 сентября

(30 августа) 1869 г. его назначают в свиту его императорского величества. Из воспоминаний отца генерала П. Н. Врангеля, барона Николая Егоровича Врангеля, промышленника, организатора угольной промышленности Донбасса, занимавшегося также разработкой рассыпного золота в Сибири, добывавшего нефть на Северном Кавказе, управлявшего заводами в Петербурге: «С председателем Русского общества пароходства и торговли, адмиралом Николаем Матвеевичем Чихачевым, мы сработались. В нем не было ничего от бюрократа; он был живым и энергичным человеком, умным, инициативным и с хорошей русской смекалкой. На свою работу он смотрел как на важное для России дело».

2 декабря (21 октября) 1871 г. Николаю Матвеевичу пожалован орден Св. Станислава 1-й степени; 11 февраля (31 января) 1872 г. король эллинов пожаловал ему орден Спасителя 2-й степени со звездой; 11 июня (30 мая) 1872 г. король Винтербергский – орденом большого креста Св. Фридриха; 12 мая (30) апреля 1873 г. турецкий султан – орденом Меджидие 1-й степени. 22 (10) февраля 1875 г. Николаю Матвеевичу объявлено монаршее благоволение за заслуги, оказанные при обеспечении народным продовольствием Херсонской губернии во время бывшего там в 1873 г. неурожая. В 1877–1878 гг. Н. Чихачева наградили орденом Св. Анны 1-й степени, орденом Св. Владимира 2-й степени с мечами и медалью за участие в русско-турецкой войне 1877–1878 гг. (Н. Чихачев – начальник морской обороны Одессы, деятельный участник операций русской флотилии в устьях Дуная). Князь Черногорский пожаловал ему орден князя Даниила 2-й степени со звездой.

13 (1) января 1880 г. высочайшим приказом Н. Чихачев произведен в вице-адмиралы.

25 (13) июля 1881 г. главным начальником флота и Морского ведомства (вместо великого князя Константина Николаевича) с правами генерал-адмирала и председателем Адмиралтействосовета был назначен великий князь Алексей Александрович. В его подчинении и был Николай Матвеевич.

20 февраля (по стар. ст.) 1884 г. Н. Чихачев назначен начальником Главного Морского штаба; 26 (14) мая приказом по Морскому ведомству за №71 назначен на кампанию командующим Балтийской практической эскадрой.

13 (1) января 1885 г. ему пожалован орден Белого Орла, а 1 июня (20 мая) 1885 г. объявлено монаршее благоволение за быстрое приготовление флота к походу. 1 июля (19 июня) на время отсутствия в Санкт-Петербурге управляющего Морским министерством (адмирала И.А.Шестакова) государь император высочайше обязанности управляющего Морским министерством возложил на начальника ГМШ с предоставлением ему прав присутствовать в высших государственных учреждениях. В 1885–1886 гг. Николаю Матвеевичу были объявлены монаршие благоволения за успешное исполнение обязанностей управляющего Морским министерством во время отсутствия генерал-адъютанта Шестакова, а также за разработку вопросов по постройке броненосных кораблей «Екатерина II», «Чесма» и «Синоп» и сооружения Алексеевских доков в Севастополе.

13 (1) января 1887 г. Николаю Матвеевичу пожалован орден Св. Александра Невского. 21 (9) января 1888 г. его назначают командующим практической эскадрой, а 6 августа (25 июля) 1888 г. император германский и король прусский награждает орденом Красногорта Орла 1-й степени.

10 декабря (28 ноября) того же года Н. Чихачев назначен на должность управляющего Морским министерством, которую он исполнял в последние шесть лет царствования императора Александра III, являясь преемником адмирала И.А.Шестакова. При нем усиление военного флота продолжалось постройкой новых судов с неизменным успехом.

Из воспоминаний министра финансов Российской империи С.Ю. Витте: *«Управляющим Морским министерством был Николай Матвеевич Чихачев, тот самый Чихачев, который раньше был директором Русского Общества Пароходства и Торговли – человек в высочайшей степени достойный, очень неглупый, вообще крайне доброжелательный, но, я думаю, что назначение его управ-*

ляющим Морским министерством было ошибкой, потому что, будучи на посту, он гораздо более занимался хозяйственной частью министерства, нежели военной; у него вообще так сказать, чисто военной жилки не было».

Тем не менее награды продолжались. Так, 10 июня (29 мая) 1889 г. Н. Чихачеву пожалован князем Черногорским орденом князя Даниила 1-й степени, 13 (1) января 1900 г. бриллиантовыми знаками ордена Св. Александра Невского.

13 (1) января 1902 г. произведен в адмиралы. 18 (6) января того же года датский король пожаловал ему орден Даненброга Большого Креста. В 1892 г. Николай Матвеевич производил инспекторскую проверку портов Каспийского моря; затем уже в Бьёрке-Зунде смотр судов флота. 7 ноября (26 октября) этого же года Николаю Матвеевичу пожалован сербским королем орденом Такова 1-й степени; 13(1) февраля 1893 г. ему высочайше разрешено принять и носить пожалованный бухарским эмиром орденом Золотой звезды с бриллиантами.

25 февраля (по стар. ст.) 1893 г. по ходатайству одесской Городской думы адмиралу Н.Чихачеву присвоено звание почетного гражданина Одессы.

Сооружение железных дорог, так же затронувшее все интересы в государстве, не могло, конечно, не коснуться и интересов Морского министерства. При быстром увеличении нашего флота, вызвавшем переустройство и улучшения портовых сооружений, проведение железных дорог к Севастополю, Николаеву и к другим портам черноморского побережья, указало на государственную необходимость такого же проведения железнодорожного пути и к балтийскому побережью как обладающему незамерзающими рейдами в городах Виндаве и Либаве.

В 1890 г. были начаты технические работы по устройству аванпорта в районе Либавы (Лиепая) как незамерзающего порта на Балтике а закладка его состоялась 24(12) августа 1893 г. По ходатайству Морского министерства новый порт получил в 1894 г. имя императора Александра III. Так осуществилась, наконец, заветная идея Петра Великого «дать флоту простор».

15(3) августа 1893 г. Н.Чихачев назначен генерал-адъютантом его императорского величества с оставлением в должности управляющего Морским министерством.

С мая 1896 г. Николай Матвеевич оставил пост управляющего Морским министерством. С 25(13) января 1900 по 1906 г. являлся председателем Департамента промышленности, наук и торговли Государственного Совета. Был членом Особого совещания о нуж-

дах сельскохозяйственного производства. Долгие годы состоял в комитете Сибирской железной дороги.

Был женат был на дочери Федора Ивановича барона Корфа баронессе Евгении. Имел восемь детей: двух сыновей – Николая и Дмитрия, и шесть дочерей: Евгению, Александру, Софью, Веру, Анну и Наталью.

2.01.1917 г. Н.М. Чихачев скончался в возрасте 87 лет. Похоронен в родовом имении Добрывичи. Прах адмирала Н.М.Чихачева покоится на погосте церкви Тихвинской иконы Божией Матери.



На могиле Н. М. Чихачева

В период празднования 300-летия флота России на могиле Н.М. Чихачева установлен памятный знак, однако захоронение не имеет должного ухода. Дело усугубляется еще и тем, что Тихвинская церковь, построенная на деньги деда адмирала, постепенно разрушается.

Занимая высокие должности, адмирал Н.М. Чихачев не плел придворных интриг, не брал взятки и не расхищал казну, а все свои силы направлял на развитие морского дела. Лично инспектировал эскадры, проводил учения флотов и смотры, знакомился с портами Каспийского и Черного морей. При нем были сооружены порт в Либаве и Алексеевские дома (доки) в Севастополе. Под непосредственным руководством Н.М. Чихачева велась постройка броненосных кораблей «Екатерина II», «Синоп» и «Чесма».

Для организации разработки бездымного пороха для орудий флота управляющий Морским министерством адмирал Н.М. Чихачев пригласил Д.И. Менделеева, который был назначен консультантом по производству взрывчатых веществ и совещальным членом Артиллерийского комитета. В апреле–июне 1893 г. были проведены пробные стрельбы с использованием нового пороха.

Именем Н.М.Чихачева названы мыс в Татарском проливе, остров в Корейском проливе, остров в Японском море, железнодорожная станция на ветке Дно–Новосокольники близ села Добрывичи. В Барнауле в честь Чихачева названа одна из улиц города. ■

Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков с распечаткой (1 экз.). Текст набирается в редакторе MS Word под Windows. Иллюстрации, помещенные в статью, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутоновые), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутоновых, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

Статья должна содержать реферат объемом до 500 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.

Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безвозмездной основе. Рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия.

Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.12 **Ключевые слова:** подводная лодка, глубоководная техника, развитие.

М.В.Александров. «Адмиралтейские верфи» готовы к строительству новых кораблей для подводного флота // Морской вестник. 2011. №2. С. 9–11.

ОАО «Адмиралтейские верфи» – признанный центр неатомного подводного кораблестроения. Подведены некоторые итоги работы предприятия в 2010 г. Обозначены его возможности и перспективы развития. Ил. 6.

УДК 629.12 **Ключевые слова:** судно на воздушной подушке, особенности, проект.

В.Г.Гаврилов. Состояние и перспективы развития кораблей на воздушной подушке скегово-го типа // Морской вестник. 2011. №2. С. 12–15.

Подведены итоги работы ЦМКБ «Алмаз» за последние десятилетия. Проанализированы особенности проектов судов на воздушной подушке, выполненных бюро, их конструктивные особенности. Обозначены перспективные направления работы ЦМКБ «Алмаз» и возникающие при этом сложности. Ил. 13.

УДК 629.5.081.4:621.03 **Ключевые слова:** судостроение, судоремонт, катера, паром СВП, СПК.

К 100-летию ОАО «Морской завод «Алмаз» // Морской вестник. 2011. №2. С. 17–19.

Знакомит с историей возникновения и развития ОАО «Морской завод «Алмаз», с продукцией, которую предприятие выпустило за эти годы. Обозначены достижения завода, который сегодня представляет собой современное производство, выпускающее конкурентоспособные на мировом рынке суда и корабли. Ил. 11.

УДК 629.5.081.4 **Ключевые слова:** судостроительный завод, корвет, фрегат, буровая платформа.

А.Б.Фомичев. «Северная верфь» в преддверии Салона // Морской вестник. 2011. №2. С. 21–22.

В преддверии очередного Международного военно-морского салона, который традиционно проводится в Санкт-Петербурге, предприятие подводит промежуточные итоги своей деятельности. Особое внимание уделено результатам военно-технического сотрудничества. Ил. 6.

УДК: 629.561.5 **Ключевые слова:** тримаран, многокорпусная схема, ауригеры, корвет, «Triton».

Д.В.Курочкин. Корвет будущего – каким ему быть? // Морской вестник. 2011. №2. С. 23–26.

Рассмотрены положительные и отрицательные моменты применения многокорпусных архитектурно-конструктивных схем при проектировании кораблей класса «корвет». Ил. 9. Табл. 1.

УДК 629.12.01 **Ключевые слова:** современные технологии коррозионной защиты, технологические линии, модернизация окрасочных производств верфей России.

Г.Д.Филимонов, С.Г.Филимонов, А.Г.Филимонов, К.Г.Шмолдаев. Модернизация корпусообращающего производства российских верфей путем внедрения новой техники и технологии // Морской вестник. 2011. №2. С. 31–32.

Знакомит с последними разработками в области технологии очистки и окраски корпусных конструкций судов и кораблей. Рассмотрено внедрение технологических линий при модернизации отечественных судостроительных и судоремонтных предприятий России с целью повышения их конкурентоспособности, а так-

же повышения производительности труда за счет механизации. Ил. 3.

УДК 629.12.001.2 **Ключевые слова:** рыболовные суда, проектирование, оптимизация, вместимость, мощность.

Лвин Аунг Соз, Б.А.Царев. Взаимосвязь характеристик вместимости и мощности при оптимизации рыболовных судов // Морской вестник. 2011. №1, С. 33–36.

Рассматриваются те вопросы оптимизации рыболовных судов, которые связаны с анализом вместимости и мощности.

УДК 621.833:658.012 **Ключевые слова:** ремонт, техническое обслуживание, система, нормативная база.

Г.Н.Муру. Условия эффективного функционирования системы технического обслуживания и ремонта морской техники // Морской вестник. 2011. №2. С. 39–41.

Посвящена актуальным проблемам – функционированию системы технического обслуживания и ремонта кораблей, судов и морской техники в настоящее время и сравнивается с аналогичной системой, существовавшей в СССР. Обозначены основные проблемы. Табл. 1. Ил. 1.

УДК 658.512.2 **Ключевые слова:** металлоконструкция, оптимизация, алгоритм оптимизации.

А.А.Друтюнян, А.А.Георгиев, В.Д.Завирухо, Д.В.Суслов. К вопросу оптимизации проектных решений при проектировании несущих металлоконструкций судовых механизмов с применением генетических алгоритмов // Морской вестник. 2011. №2. С. 43–45.

Рассмотрен системно-методологический подход к оптимизации проектных решений при проектировании несущих металлоконструкций с применением генетических алгоритмов. Табл. 2. Ил. 2. Библиогр. 3.

УДК 621.643/644 **Ключевые слова:** трубопроводная арматура, ОАО «Аскольд».

Л.В.Колесников. Трубопроводная арматура производства ОАО «Аскольд» – залог надежности и качества // Морской вестник. 2011. №2. С. 46.

Дальневосточный арматурный завод ОАО «Аскольд» изготавливает общесудовую трубопроводную и специальную арматуру высокого и низкого давления. Обозначены возможности предприятия, программа модернизации. Ил. 2. УДК 621.039.578 **Ключевые слова:** ядерный паропроизводящий агрегат «Бета», полунатурный стэнд.

Н.П.Шаманов, В.В.Кожемьякин, Д.Н.Шаманов, В.Б.Соломянский, И.М.Алексеев. Полунатурный стэнд на Приморской учебно-научной базе СПбГМТУ для экспериментальных исследований судового ядерного моноблочного паропроизводящего агрегата «Бета» // Морской вестник. 2011. №2. С. 47–48.

Созданный на Приморской учебно-научной базе СПбГМТУ испытательный стэнд «Бета-К» позволяет осуществлять физическое моделирование стационарных и нестационарных теплофизических и гидродинамических процессов, протекающих в ППА типа «Бета». Разработанная для стэнда АСОИ обеспечивает сбор и отображение информации, поступающей с датчиков экспериментальной установки в режиме реального времени, а также сохранение информации о параметрах установки за время проведения эксперимента для последующего использования. Ил. 4. Библиогр. 1.

УДК 621.039.578 **Ключевые слова:** ядерный паропроизводящий агрегат, пароводяной струйный аппарат, теория запуска.

Н.П.Шаманов, Д.Н.Шаманов, А.Г.Андреев. Особенности запуска струйного аппарата в

первом контуре ядерной паропроизводящей установки // Морской вестник. 2011. №2. С. 49–51.

Разработана теория запуска пароводяных струйных аппаратов, выполняющих роль циркуляционных средств в первом контуре ядерного паропроизводящего агрегата. Представлены результаты экспериментов. Исследованы особенности и условия запуска пароводяных струйных аппаратов под действием естественной циркуляции. Ил. 8. Библиогр. 4.

УДК 629.12.03 **Ключевые слова:** бесперебойность, концепция, интеграция, корабельные системы централизованного питания (СЦП).

А.Ю.Губанов, Ю.А.Губанов. Бесперебойное электропитание: теория и практика // Морской вестник. 2011. №2. С. 53–56.

Рассмотрены результаты разработки и внедрения концепции бесперебойного электропитания на кораблях, результаты структуризации систем централизованного питания (СЦП), создания общей компонентной основы для синтеза СЦП и алгоритмической модели бесперебойности. Развитие корабельных систем электропитания связано с созданием СЦП, интегрированных с системами-потребителями. Высокий уровень интеграции должен стать результатом исследований, связанных с проведением углубленного системного анализа СЦП совместно с этими системами. Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. 11.

УДК 621.45 **Ключевые слова:** электроэнергетическая система, стоимость, массогабаритные характеристики, электрораспределительное устройство.

Перспективы развития судовых электроэнергетических систем // Морской вестник. 2011. №2. С. 59–60.

Показаны способы снижения стоимостных и массогабаритных показателей и расширения функциональности систем распределения и управления электроэнергией объектов морского базирования. Особое внимание уделено наращиванию функциональности электрораспределительных устройств КРУ, номенклатура которых создана на ОАО «Новая ЭРА». Табл. 1. Ил. 4. УДК 621.313.3:51:004 **Ключевые слова:** асинхронная машина, пусковой момент, фазный ротор, критическое скольжение, конденсаторы, механическая характеристика.

Бабенко Б.Б., Приходько В.М. Асинхронная машина с конденсаторами в цепи фазного ротора // Морской вестник. 2011. №2. С. 62–63.

Рассмотрена возможность увеличения пускового момента асинхронной машины по сравнению с номинальным пусковым моментом путем введения конденсаторов в цепь фазного ротора. Ил. 1. Библиогр. 4.

УДК 629.5.03 **Ключевые слова:** эксплуатация, судовые дизельные установки, теплообмен, средства очистки.

М.В.Омельянюк. Очистка систем охлаждения судовых дизельных установок и газоперекачивающих агрегатов // Морской вестник. 2011. №2. С. 63–66.

Проанализированы проблемы, возникающие при эксплуатации судовых дизелей и газомоторных компрессоров с отложениями на поверхностях теплообмена. Представлены результаты внедрения разработанных технологических решений и технических средств очистки. Ил. 6. Библиогр. 30.

УДК 620.179:629.039.5 **Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, паровая турбина, комбинированный цикл, газопаротурбинная установка, переменный режим работы, статическая характеристика.

Б.А.Тихомиров, Зо Вин Тхайк. Характеристики судовых комбинированных газопаротурбинных установок на переменном режиме // Морской вестник. 2011. №2. С. 67–69.

Выполнены обобщения основных характеристик установки на базе морских газотурбинных двигателей 3 – 5 поколений. Определены характеристики установки на переменном режиме для схем теплоутилизующего контура с теплым ящиком и паровой турбиной и с деаэратором и паровой турбиной с отбором пара. Ил. 5. Библиогр. 12.

УДК 651.574.041 **Ключевые слова:** охлаждение морских биоресурсов, динамические характеристики, холодильная камера, скорость охлаждения.

А.С. Кротов, Б.А. Макаров, В.И. Яковлев, В.Л. Уманский. Исследование динамических характеристик пароконденсационных холодильных машин на многокомпонентных смесях хладагентов // Морской вестник. 2011. №2. С. 71–73.

Приведены результаты экспериментального исследования зависимости изменения производительности пароконденсационной холодильной машины на многокомпонентных смесях хладагентов от состава рабочего тела и общего количества его заправки. Ил. 5 Библиогр. 2.

УДК 681.518 **Ключевые слова:** обучение, тренажер, оператор, ошибки, индикатор, контроль, метод.

Шилов К. Ю., Кобзев В. В. Контроль работы оператора в автоматизированных системах обучения // Морской вестник. 2011. №2. С. 75–77.

Рассмотрен вопрос формализации ошибок оператора при отработке на тренажере с целью контроля уровня его обученности. Проанализирована природа ошибок оператора при управлении корабельными техническими средствами. Предложен подход к разработке моделей ошибок, базирующийся на методе «ветвей и границ». Табл. 1. Ил. 3. Библиогр. 5. УДК 623.746.07-519 **Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, система управления посадкой на судно.

Ю.Ф. Подоплёкин, С.Н. Шаров. Корабельный модуль аппаратуры освещения надводной и наземной обстановки на базе беспилотного летательного аппарата // Морской вестник. 2011. №2. С. 78–83.

Рассматриваются особенности освещения надводной и наземной обстановки при помощи беспилотных летательных аппаратов. Приведены результаты исследования технических путей создания бортовой и судовой систем управления посадкой беспилотных летательных аппаратов. Показаны возможности обеспечения посадки беспилотных летательных аппаратов их на движущееся судно. Ил. 10. Библиогр. 4.

УДК 621.039.578 **Ключевые слова:** навигационно-тактический комплекс, система координированного управления.

В.М. Амбросовский, Ю.В. Баглюк, А.Н. Коданев, А.С. Корнев. Система координированного управления движением корабля // Морской вестник. 2011. №2. С. 85–87.

ЗАО «Транзас» разработало навигационно-тактический комплекс «ТРИМС-22460», позволяющий довести уровень автоматизации корабля до класса АУТ1. В его состав входит система координированного управления, реализующая функции управления движением корабля на малых водах в режиме удержания курса и точки.

Рассмотрены состав СКУ-22460, структура алгоритмического обеспечения. Приведены результаты управления. Ил. 9. Библиогр. 2.

УДК 614.843 **Ключевые слова:** сложная техническая система; многоканальная система измерений; корреляционные связи; информационного расстояния Кульбака-Ляйблера.

А.В. Макшанов, В.А. Колесник, В.А. Солонько. Обнаружение и классификация сбоев в работе сложной технической системы по результатам многоканальных измерений различной физической природы // Морской вестник. 2011. №2. С. 89–91.

Предложена единая система представлений и визуализации данных многоканальных измерений, основанная на модификациях ин-

формационного расстояния Кульбака–Ляйблера и предназначенная для обнаружения и распознавания типовых изменений состояния контролируемой системы на ранних стадиях их развития. Приведены новые расчетные формулы, позволяющие обобщить для анализа временных рядов многоканальных измерений различной физической природы известные результаты, используемые в многомерном статистическом анализе. Библиогр. 10.

УДК 622.276.04 **Ключевые слова:** нефтегазовый объект, безопасность, нормативная база, технические средства.

С.П. Алексеев, А.Н. Доброворский, П.Г. Бродский. Организация сотрудничества ВМФ и ОАО «Газпром» – залог системного решения проблемы повышения безопасности морских нефтегазовых объектов // Морской вестник. 2011. №2. С. 93–95.

Обозначены потенциальные угрозы безопасности при освоении и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений, а также направления и мероприятия, намеченные «Планом совместной деятельности ОАО «Газпром» и ВМФ на 2008–2010 годы» в этой области. Рассмотрены приоритетные задачи. Показано, что обобщение уникального опыта и результатов, полученных в процессе реализации этих мероприятий, представляет интерес для организации системного решения проблемы обеспечения безопасности морских нефтегазовых объектов. Ил. 4.

УДК 556 **Ключевые слова:** картопостроение, гидрографический промер, съемка морского дна, многолучевой эхолот.

К.А. Смирнов, В.Г. Дзюба, А.О. Попко, С.Л. Ражев. Специальное программное обеспечение для производства гидрографических работ PDS-2000 // Морской вестник. 2011. №2. С. 97–99.

Знакомит с возможностями нового программного обеспечения, используемого для картопостроения, съемки поверхности морского дна, распознавания объектов на морском дне и др. Ил. 10.

УДК 658.524.001.1 **Ключевые слова:** судно смешанного плавания, пропульсивный комплекс.

Г.В. Егоров, И.А. Ильницкий, Б.Н.Станков, А.В. Печенюк. Проработка вариантов пропульсивного комплекса судна смешанного плавания класса «Волго-Дон макс» // Морской вестник. 2011. №2. С. 101–106.

Приведены итоги работы по нахождению оптимального состава пропульсивного комплекса для судна смешанного плавания класса «Волго-Дон макс». Показано, что наилучшим вариантом является выбор двухвального пропульсивного комплекса с гребными винтами фиксированного шага в направляющих насадках. Рассчитана потребная мощность главных двигателей с 15%-ным запасом. Табл. 5. Ил. 11. Библиогр. 15.

УДК 681.3 **Ключевые слова:** зубчатый механизм, структура, теория передач.

С.О.Барышников, А.Н.Иванов. Обзор методов представления структуры зубчатых механизмов // Морской вестник. 2011. №2. С. 108–110.

Рассмотрены узловые идеи описания структуры зубчатых механизмов. Приведены системы планетарной передачи, содержащей два последовательно соединенных однорядных планетарных механизма. На основе обзора методик представления структур зубчатых механизмов сделан вывод о целесообразности введения в теорию передач различных топологических методов описания их строения, что облегчает решение основных этапов синтеза зубчатых механизмов: образование, вычисление основных энергетических параметров, размещение. Ил. 5. Библиогр. 16.

УДК 629.12:539.4 **Ключевые слова:** прочность судна, селинг, имитационное моделирование.

М.С. Бойко. Постановка, методы и алгоритмы решения задачи имитационного моделирования волновых нагрузок, действующих на корпус судна // Морской вестник. 2011. №2. С. 111–112.

Предложена постановка задачи имитационного моделирования волновых нагрузок на корпус судна, а также краткое описание ме-

тодов и алгоритмов ее решения. Суммарные линейные и нелинейные нагрузки на корпус судна при селинге моделируются в реальном времени, т.е. в виде реализации заданной продолжительности. Статистическая обработка полученных реализаций позволяет получить краткосрочный прогноз величины волнового изгибающего момента в корпусе судна с учетом селинга. Библиогр. 4.

УДК 629.12.073.243.4 **Ключевые слова:** ускорения, амплитуда качки, мелководье, регулярное и нерегулярное волнение, спектры, трехмерная потенциальная теория, функция Грина.

Тан Хтун Аунг. Определение ускорений, возникающих при качке судна на мелководье // Морской вестник. 2011. №2. С. 113–115.

Рассмотрен метод расчета ускорений в произвольной точке корпуса судна в условиях ограниченного фарватера на регулярном и нерегулярном волнении. Амплитуды качки рассчитываются на основании решения соответствующей трехмерной задачи.

Приведены результаты расчетов амплитуд ускорений в характерных точках судна на регулярном и нерегулярном волнении. Проводится анализ полученных результатов. Ил. 9. Библиогр. 5.

УДК 532.528 **Ключевые слова:** кавитационное обтекание, решетка пластин с интерцептором, условие Бриллюена, число кавитации, угол атаки.

А.К. Урядов. Задача о кавитационном обтекании решетки пластин с интерцептором с образованием застойной зоны и замыканием каверны по схеме Тулина–Терентьева // Морской вестник. 2011. №2. С. 116–120.

Интерцепторы позволяют поддерживать оптимальный ходовой дифферент судна. В статье представлено аналитическое решение и соответствующие численные результаты для указанной в заглавии нелинейной задачи теории струй идеальной жидкости. Используется схема замыкания каверны Тулина–Терентьева. Решение основано на методе особых точек Чаплыгина, конформном преобразовании по формуле Кристоффеля–Шварца, и применении метода Ньютона для системы нелинейных уравнений. Установлена связь с задачей обтекания решетки пластин с интерцепторами по схеме Кирхгофа. Ил. 9. Библиогр. 9.

УДК 681.322 **Ключевые слова:** качество, надежность, планирование, жизненный цикл изделия, система QLM, ООО «Ирисофт», PTC International.

Управление качеством эксплуатационных характеристик, надежностью и безопасностью продукции // Морской вестник. 2011. №2. С. 121–124.

Показаны этапы конструирования качественного изделия на основе анализа его качества, надежности и безопасности, проведенного на ранней стадии работы. Для этого предложена система QLM (QualityLifeManagement), или «Управление жизненным циклом качества», позволяющая просчитать риски и вероятности брака изделия на основе изучения статистических данных. QLM, является кросс-функциональным решением задачи на уровне всего предприятия, которое обеспечивает соответствие качественных характеристик изделия требованиям, предъявляемым к нему.

УДК 061.43:629.12 **Ключевые слова:** РосНТО судостроителей, конференция.

К.В. Рождественский. Визит делегации Российского Научно-технического общества судостроителей в Лондон // Морской вестник. 2011. №2. С. 124–125.

Сообщение о визите делегации РосНТО судостроителей в Лондон для участия в заседании исполнительного и программного комитетов Всемирной морской технологической конференции WMTC2012. Ил. 2.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** морской министр Н.М.Чихачев.

С.П. Сирый. Двенадцатый морской министр императорского флота России адмирал Н.М. Чихачев // Морской вестник. 2011. №2. С. 126–129.

Знакомит с биографией двенадцатого морского министра императорского флота России, его вкладом в развитие морских сил страны. Ил. 3.

SUMMARIES

M.V. Aleksandrov. «Admiralty» Shipyards are ready to build new submarine for Navy

OJSC «Admiralty Shipyards» – is acknowledged center of non-nuclear submarine shipbuilding. Company's results for the 2010 are summarized. Company's possibilities and prospects are specified.

V.G. Gavrilov. Conditions and prospects of skeg type hovercrafts development

This is a summary of CMKB «Almaz» work for the past decade. It reviews features of bureau's hovercraft projects, design features thereof. Promising areas of CMKB «Almaz» and arising challenges are specified.

To the 100 anniversary of OJSC «Morskoy zavod 'Almaz'»

Article tells about the history of the OJSC «Morskoy zavod 'Almaz'» establishment and development and about the products produced over the years by the company. Achievements of the company that is, nowadays, a modern production facility that produces competitive in the global market ships and vessels are specified.

A.B. Fomichev. «Severnaya Verf» in anticipation of the Salon

In anticipation of the next International Maritime Defense Show, which is traditionally held in St. Petersburg, the company brings the interim results of its operations. Particular attention is paid to the results of military-technical cooperation.

D.V. Kurochkin. Corvette of the future – what shall it be?

The topic discusses positive and negative aspects of using multi-hulled architectural design schemes for the design of 'corvette' class ships.

G.D. Filimonov, S.G. Filimonov, A.G. Filimonov, K.G. Shmoldae. Modernization of Russian hull producing shipyards through the implantation of new equipment and technology

It tells about the latest developments in technology of cleaning and painting the hull structures of ships and vessels. The implementation of technological lines for modernization of national dockyards of Russia to enhance the competitiveness thereof and to increase productivity through mechanization is discussed.

Lwinn Aung Soe, B.A. Tsarev. Relationship of characteristics of capacity and power at the optimization of fishing vessels

The article discusses the issues of optimization of fishing vessels associated with the analysis of capacity and power.

G.N. Muru. Conditions for effective functioning of the marine equipment maintenance and repair system

Article is devoted to topical issues such as functioning of the current ships, vessels and marine equipment maintenance and repair system and comparing it with a similar system existing in the USSR. The major issues are specified.

A.A. Arutyunyan, A.A. Georgiev, V.D. Zaviruh, D.V. Suslov. On the issue of optimizing design solutions in designing of bearing steel structures of ship mechanisms using genetic algorithms

It reviews the systematic and methodological approach to optimization of the design solutions in designing of bearing steel structures using genetic algorithms.

L.V. Kolesnikov. Piping valves manufactured by OJSC «Askold» is a guarantee of reliability and quality

Far East Valve Plant OJSC «Askold» produces general piping and special high and low pressure valves. The capabilities of the enterprise and modernization program are specified.

N.P. Shamanov, V.V. Kozhemyakin, D.N. Shamanov, V.B. Solomyansky, I.M. Alekseenko. Semi-natural stand at the Maritime Training-Scientific Base of the SPbGMTU for experimental studies of ship's nuclear mono-block steam generating unit «Beta»

Created in Primorye training and scientific base of SPbSMTU testing stand «Beta-K» allows for physical modeling of steady and unsteady thermal and hydrodynamic processes in the «Beta» type Steam Generating Units.

Automated Information Processing System designed for the stand provides for gathering and displaying information from the sensors of the experimental plant in real time mode, as well as storing the information about the plant's settings during the experiment for later use.

N.P. Shamanov, D.N. Shamanov, A.G. Andreev. Features of start-up of the jet apparatus in the first loop of nuclear steam-generating unit

The theory of starting-up the steam jet apparatus acting as the circulation mediums in the first loop of nuclear steam-generating unit is developed. The results of experiments are provided. The features and conditions of starting-up the water-steam jet apparatuses under natural circulation are reviewed.

A.Y. Gubanov, Y.A. Gubanov. Uninterrupted Power Supply: Theory and Practice

The results of the development and implementation of the concept of uninterrupted power supply for ships, the results of structuring the DTS, creation of a common component framework for the synthesis of DTS and the algorithmic model of continuity are discussed. Future development of shipboard power systems is connected with the creation of DTS integrated with consuming systems. High level of integration shall be the result of new researches related to in-depth system analysis of such DTS's with these systems.

Prospects for the development of ship power systems

Article shows the ways to reduce cost and weight & size parameters and to extend the functionality of of-shore based facilities power distribution and control systems. Particular attention is paid to increasing the functionality of electrical distribution switchgear equipment, the range of which is created at the OJSC «New Era».

B.B. Babenko, V.M. Prikhodko. Asynchronous machine with the capacitors in the circuit of the phase rotor

It discusses the possibility of increasing the starting torque of asynchronous machine compared with the nominal starting torque by installation of capacitors in the circuit of phase rotor.

M.V. Omelyanyuk. Cleaning the cooling systems of marine diesel and gas pumping units

The topic reviews problems arising at operation of marine diesel and gas-motor compressors with deposits on heat-exchanging surfaces. The results of developed technology solutions and cleaning equipment implementation are provided.

B.A. Tikhomirov, Zaw Win Thayk. Specifications of ship combined gas-steam turbine plants in alternate mode

The basic specifications of plants based on marine gas turbine engines of 3-5 generations are summarized. The plant specifications in alternate mode for the heat-disposing circuit with a hot-well tank and steam turbine, and a de-aerator and steam turbine with steam extraction are determined.

A.S. Krotov, B.A. Makarov, V.I. Yakovlev, V.L. Umansky. Study of dynamic characteristics of vapor compression chillers in multi-component mixtures of coolants

The results of the pilot study of the dependence of vapor compression cooler operating on multi-component mixtures of coolants performance variation on the composition of the working body and total volume of its filling are given.

Shilov K. Y., Kobzev V.V. Control over operator's work in automated training systems

The topic discusses the issue of formalization of operator's errors when working-out on simulator in order to monitor the level of his training. The nature of operator's errors when operating the ship's technical equipment is analyzed. An approach to errors modeling based on the method of «branches and boundaries» is offered.

Y.F. Podoplekin, S.N. Sharov. Ship's module of lighting equipment for water and ground environment on the basis of UAV

The topic discusses features of water and ground environment using unmanned aerial vehicles. The results of study of technical ways for creation of on-board and ship systems to control landing of unmanned aerial vehicles are given. The possibilities of providing for unmanned aerial vehicle landing to moving ship are shown.

V.M. Ambrosovsky, Y.V. Baglyuk, A.N. Kodanov, A.S. Korenev. The system of coordinated control of ship's movement

CJSC «Transas» has developed navigation and tactical complex «TRIMS-22460» allowing for bringing the level of ship's automation to AUT1 class. It includes a system of coordinated control implementing ship's movement control functions on lower waters in mode of course and point keeping.

The composition of SKU-22460 and the structure of algorithmic support are discussed. Results of control are given.

A.V. Makshanov, V.A. Kolesnik, V.A. Solonko. Detection and classification of faults in operation of complex engineering system based on multi-channel measurements of different physical nature

Proposed is a unified system of representation and visualization of multi-channel measurements based on modifications of the information distance of Kullback-Lyaybler and designed for detection and recognition of typical changes in the controlled system condition on early stages of their development. New calculation equations allowing for generalization of known results of different physical nature to analyze time series of multi-channel measurements used in multivariate statistical analysis.

S.P. Alekseev, A.N. Dobrotvorskyy, P.G. Brodsky. Organization of cooperation between the Navy and OJSC «Gazprom» is a guarantee of systematic solving the problem of improving the safety of marine oil & gas facilities

The potential safety threats during the development and operation of offshore oil and gas fields are identified. The

directions and activities specified in «The Plan of joint activities of OJSC «Gazprom» and the Navy in 2008-2010» in this area are identified. The priorities are set. It is shown that the synthesis of a unique experience and results obtained in course of carrying out these activities is interesting for organization of systematic addressing the issue of ensuring the safety of marine oil and gas facilities.

K.A. Smirnov, V.G. Dzuba, A.O. Popko, S.L. Razhev. Special software for hydrographic works PDS-2000

The topic introduces the features of new software used for mapping, survey of the seabed, recognition of objects on the seabed, etc.

G.V. Egorov, I.A. Il'nitsky, B.N. Stankov, A.V. Pechenuk. Working-out the options for propulsion system of the mixed navigation ship of «Volga-Don max» class

It shows the results of work on finding the optimal composition of the propulsion system for a mixed navigation ship of «Volga-Don max» Class. It is shown that the best option is to choose the two-shaft propulsion system with fixed pitch propellers in thrust-augmenting nozzles; the power demand of the main engines with a 15% margin is calculated.

S. O. Baryshnikov, A.N. Ivanov. Review of methods for presenting the structure of gears

It discusses the key ideas of gear structure descriptions. Planetary gear systems with two single row planetary mechanisms connected in series are shown. Based on a review of methods for representation of gear structures it is concluded that it is appropriate to introduce into the transmission theory various topological methods for describing their structure to facilitate solving of the main stages of the gears synthesis i.e.: formation, calculation of basic power-linkage parameters, and placement.

M.S. Boyko. Formulation, methods and algorithms for solving the problem of simulation of wave loads on the hull

It is proposed the formulation of the problem of simulation of wave loads on the hull, and a brief description of methods and algorithms for resolving thereof is given. The combined linear and nonlinear loads on the hull during slamming are modeled in real time, i.e. as a realization of a given duration. Statistical processing of the obtained implementations allows you to receive short-term forecast of the wave bending moment in the hull with consideration of slamming.

Tan Khtun Aung. Determination of accelerations occurring at ship's pitch in shallow waters

It discusses the method of calculating the acceleration at any point of the hull in tight fairway on the regular and irregular waves. Pitching amplitude is calculated on the basis of solving the corresponding three-dimensional problem. The results of calculations of the amplitudes of acceleration at typical points of the vessel on regular and irregular waves are given. Analysis of obtained results is provided.

A.K. Uryadov. The problem of the cavity flow of plate grids with interceptor with the formation of dead zone and closure of the cavity as per Tulin-Terentyev diagram

Interceptors allow for maintaining the optimum running pitch angle of the ship. The topic gives analytical solution and corresponding numerical results for, the mentioned in title, nonlinear problem of the theory of ideal fluid jets. The Tulin-Terentyev diagram of cavity closure is used. The solution is based on a method of Chaplygin special points, conformal transformation as per Christoffel-Schwartz Equation, and using Newton's method for systems of nonlinear equations. The relationship with the problem of the cavity flow of plate grids with interceptors by Kirchhoff diagram is determined.

Quality control of products performance, reliability and safety

It shows the stages of designing high-quality product based on an analysis of its quality, reliability and safety performed at earlier stage of operation. For this it is proposed the QLM (QualityLifeManagement) System or «Quality life cycle management», which allows for calculation of risks and likelihood of product defect based on the study of statistical data. QLM is a cross-functional problem solution at the level of the entire enterprise to ensure the compliance of product quality characteristics with the requirements thereto.

K.V. Rozhdestvensky. London visit of the delegation of the Russian Scientific-Technical Society of Shipbuilders

This topic tells about the visit of the RosNTO shipbuilders' delegation to London to attend the meeting of the executive and program committee of the World Maritime Technology Conference, WMTCC2012.

S.P. Siry. Twelfth Marine Minister of the Imperial Russian Navy, Admiral, N.M. Chikhachev

This topic tells the biography of the twelfth Naval Minister of the Imperial Russian Navy, his contribution to the development of the naval forces of the country.