

Морской



Вестник

№2(90)

И Ю Н Ъ

2 0 2 4

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik



**51 ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
КОНСТРУКТОРСКО - ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ СУДОРЕМОНТА**

70 лет

со дня основания

Санкт-Петербург
190021, Английская набережная, д. 38
Тел./факс: + 7 (812) 315 4945
E-mail: office@51cktis.ru

Ломоносов
198412, ул. Михайловская, д. 14
Тел./факс: + 7 (812) 423 1600

Губернатор Санкт-Петербурга Александр Дмитриевич Беглов 28 февраля 2024 г. посетил Научно-производственное объединение «Завод «Волна», где ознакомился с предприятием, встретился и поговорил с его сотрудниками.

Предприятие является основой оборонно-промышленного сектора холдинговой компании «ЭГО-Холдинг», а также крупнейшим и старейшим научно-производственным объединени-

ГУБЕРНАТОР САНКТ-ПЕТЕРБУРГА А.Д. БЕГЛОВ ПОСЕТИЛ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ЗАВОД «ВОЛНА»

*А.Л. Кашин, председатель совета директоров ХК «ЭГО-Холдинг»,
контакт. тел. +7 (911) 920 0097*



Посещение Александром Бегловым цеха комплексной сборки готовой продукции

ем Санкт-Петербурга. В феврале ему исполнился 91 год.

За последние годы «Завод «Волна» не только сохранил свои позиции, но и превратился в динамично развивающийся высокотехнологичный производственный центр мирового уровня.

Продукция, выпускаемая предприятием, варьируется от самодостаточных систем и комплексов до одиночных изделий. Разработки ведутся в областях средств радиосвязи, радиоэлектронного подавления и радиоэлектронной борьбы.

Вся линейка изделий предприятия востребована Министерством обороны, силовыми структурами и муниципальными органами власти.

Александр Беглов посетил цех комплексной сборки готовой продукции, где завершается финальная сборка комплексных аппаратных связи для ВМФ РФ, ремонтируется вышедшая из строя техника, производится монтаж оборудования кузовов контейнеров для комплексных аппаратных связи, и цех сварки и сборки кузовов-контейнеров, где выполняются различные этапы их сборки.

В сопровождении должностных лиц губернатор обошел цеха, осмотрел технику и оборудование, ознакомился с их характеристиками, побеседовал с рабочими.

Губернатор посетил центр испытаний готовой продукции «Качество», где проводится полный цикл испытаний изделий, которые выпускаются на предприятии. Особенностью центра испытаний является наличие восьмикубовой термической камеры, а также вибростенда с частотой до 1000 МГц, который является уникальным.

Также губернатор посетил ряд других производственных цехов и лабораторий завода, в том числе и цех поверхностного монтажа печатных плат, где реализован полный цикл изготовления всех видов печатных плат для продукции не только НПО «Завод «Волна», но и других предприятий холдинга.

Александр Беглову было доложено о предприятиях оборонно-промышленного комплекса холдинга, динамике их развития, появлении новых производств и открытии новых наукоёмких филиалов уже существующих предприятий, об ос-

воении новых видов выпускаемой продукции и их применении в Вооруженных силах Российской Федерации.

В ближайшее время на территории завода планируется постройка производственно-складского здания, научно-производственного комплекса и гидроакустического бассейна. По завершении проектов в городе появится более 1300 новых рабочих мест.

На заводе имеется свой Учебный центр, на базе которого ведутся обучение и переподготовка специалистов по различным инженерным и рабочим специальностям и Детский центр технического творчества, в котором ребята, начиная с первого класса, могут заниматься 3D-моделированием, радиотехникой, робототехникой и другими техническими дисциплинами.

Был представлен смонтированный фрагмент оборудования Детского центра технического творчества АО «НПО «Завод «Волна», созданного исключительно за счет финансирования и поддержки Комитета по промышленной политике, инновациям и торговле Санкт-Петербурга. ■



Александр Беглов знакомится с выпускаемой продукцией и беседует со специалистами объединения

Морской Вестник



№ 2 (90)

И Ю Н Ь

2 0 2 4

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редационный совет

Сопредседатели:

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

А.Л. Кашин, председатель совета директоров АО «НПО Завод «Волна»

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

Г.А. Туричин, ректор СПбГМТУ

Члены совета:

А.А. Асланян, генеральный директор АО «НПФ «Меридиан»

И.Ю. Бурцев, исполнительный директор ЗАО «ЦНИИ СМ»

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

В.Э. Гель, генеральный директор АО «УК «Радиостандарт»

К.Г. Голубев, генеральный директор АО «ЦМКБ «Алмаз»

В.Ю. Дорофеев, генеральный директор АО «СПМБМ «Малахит»

М.В. Захаров, генеральный директор ООО «Пумори-северо-запад»

П.А. Зубков, генеральный директор ООО «МКС»

С.Н. Ирютин, председатель Санкт-Петербургского Морского Собрания

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

Г.А. Коржавин, научный руководитель АО «Концерн «Гранит-Электрон»

А.В. Кузнецов, председатель совета директоров АО «Армалит»

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор АО «Компрессор»

Н.В. Кулык, генеральный директор АО «НПО Завод «Волна»

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

И.М. Мухоминов, генеральный директор ПАО «СФ «Алмаз»

О.А. Остапко, генеральный директор АО «Северное ПКБ»

А.А. Павлов, генеральный директор АО «НТИ «Радиосвязь»

Е.А. Рылов, генеральный директор АО «ПКБ «РИО»

В.А. Середохо, генеральный директор АО «СНСЗ»

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

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

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

С.Г. Филимонов, генеральный директор АО «Концерн Морфлот»

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

И.В. Щербakov, генеральный директор ООО ПКБ «Петробалт»

СОДЕРЖАНИЕ

Губернатор Санкт-Петербурга А.Д. Беглов посетил Научно-производственное объединение «Завод «Волна» 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

С.Ю. Афанасьева, А.В. Кошелев. Самоотвозные земснаряды: потребности, перспективы, характеристики. Часть 1 7

М.Г. Балашов, А.Б. Ваганов, Б.П. Ионов, Ю.Ф. Орлов, А.Ю. Панов, В.Н. Савинов, С.Н. Хруников. Современные проблемы проектирования плавучих кранов 12

Л.И. Вишневский, О.П. Орлов, В.Н. Половинкин. К вопросу о достоверности результатов численного моделирования обтекания тел с использованием программных продуктов 18

П.А. Зубков, М.Г. Войтович. Повышение эксплуатационной экономичности корабля за счет использования современных конструкционных материалов и технологий тепловой изоляции конструкций корпуса корабля 22

А.В. Шляхтенко – 75 лет 27

О.П. Орлов, Т.А. Дьякова. К 100-летию со дня рождения профессора И.Т. Егорова 28

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Г.Н. Муру. Оценка возможностей судоремонтного предприятия по выполнению эффективного ремонта морской техники. К 70-летию создания ГУСРЗ ВМФ и 51 ЦКТИС 30

П.А. Зубков, А.А. Петрова. Современные сэндвич-панели как система зашивки помещений на кораблях 35

В.В. Харитонов, И.А. Васильев. Вопросы освидетельствования и ремонта железобетонных конструкций композитных плавучих доков 37

Средне-невский судостроительный завод строит пассажирские катамараны 41

Н.М. Вихрову – 75 лет 43

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

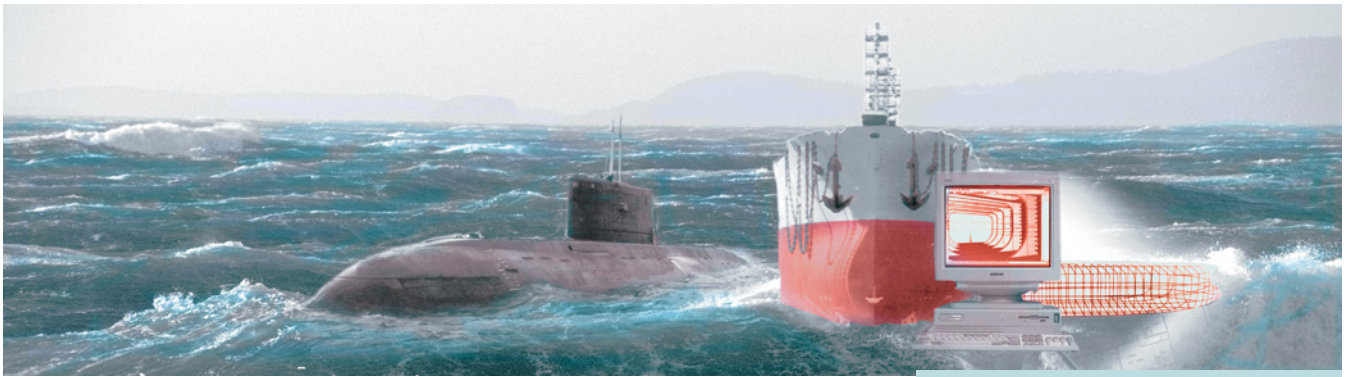
К.Г. Голубев, В.В. Барановский, И.А. Иващенко. Анализ рисков и угроз для технической базы корабельного газотурбостроения из-за отсутствия серийных поставок освоенных ПАО «ОДК-Сатурн» газотурбинных двигателей.. 44

Ю.С. Самычко. Обоснование применения системного подхода при внесении изменений в процесс проектирования ЯЭУ для подводного флота 51

И.И. Хряцев, Д.В. Данилов, Е.А. Ширяев. Новые отечественные материалы для аддитивного производства разработки ПАО «ОДК-Сатурн» и их применение в ГТД морского назначения 53

А.В. Бураков, С.М. Томашевский, И.А. Томашевская, С.Ю. Титова, Д.В. Балакишина. Создание судовых систем осушки, очистки, хранения и контроля параметров сжатого воздуха для энергетических установок, в том числе кораблей ВМФ и гражданского флота 55

А.Г. Мальцев, К.Г. Михеев, С.В. Огурицов, В.В. Пушкарев. Расчет уровней гидродинамического шума трубопроводной арматуры численными методами.. 61



И. П. Леонова, А. З. Багерман, М. Н. Буров. Результаты испытаний газотурбинного двигателя с типовыми неисправностями проточной части. Влияние солей морской воды на эксплуатацию газотурбинного двигателя..... 66

А. А. Халявкин, А. В. Шамаев, И. Н. Медведев. Применение прессованной древесины березы для изготовления вкладышей дейдвудных подшипников судов 70

В. К. Румб, Хтоо Наинг Аунг. Учет нестационарности нагружения при прогнозировании усталостной долговечности судовых валопроводов 72

А. Н. Дядик, А. В. Балакин, А. В. Юшков. Разработка системы управления воздухонезависимой энергетической установки с электрохимическим генератором.....75

Н. С. Вахрушина, А. Н. Дядик. Теплообмен в энергетическом отсеке автономного обитаемого подводного аппарата в режиме «зависания» 79

Д. М. Кучинский, Д. О. Глазырина, С. А. Паимцев, Я. А. Бойко. Определение теплоемкости метана с помощью уравнения состояния реального газа 83

А. А. Соловьев. Применение полиамидных покрытий в гидроцилиндрах объемного гидропривода 85

Б. Ю. Семёнов. Модификация канала управления токами корабельных систем компенсации низкочастотных электромагнитных полей с целью повышения помехоустойчивости 89

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

С. М. Доценко, Д. В. Звездарёв, В. В. Изумнов, И. А. Устинов, С. В. Филиппов, Е. А. Рылов, И. А. Полковников. Вопросы моделирования и искусственного интеллекта в системе сквозного концептуального проектирования систем и комплексов управления специального назначения 93

А. В. Давыдов, С. С. Попов, А. С. Попов. Изменение объема видеотрафика в каналах транспортной сети связи 98

В. А. Казначеев, М. В. Плюшин. Специальные технологические процессы в радиоэлектронной аппаратуре 103

А. К. Аристова, Ю. А. Степанов, К. А. Смирнов. Блок питания анодов системы защиты от обрастания трубопроводов забортных систем судна 107

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

К. В. Лапшин. Метод формирования обобщенных описаний для темпоральных баз знаний в контуре моделирования сложного динамического объекта..... 109

А. Е. Васильев, А. В. Вегнер, В. А. Карпенко, Йе Мин Хтет, Хтут Шайн. Применение методов теории нечетких множеств в задачах управления движением маломерного беспилотного судна 112

А. В. Саушев, В. О. Тырва, В. И. Смирнов, А. А. Темкин. Антропоморфное управление в эргатической системе «судоводитель–судно» 116

В НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

В. С. Никитин. Техническому комитету по стандартизации ТК416 «Гипербарическая техника» – 25 лет 119

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

С. Н. Ирютин, М. Н. Савин, В. Н. Торба. В сиянии андреевского флага 121

Главный редактор

Э. А. Конов, канд. техн. наук

Зам. главного редактора

Д. С. Глухов

Тел.: (812) 6004586

Факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Редакционная коллегия

Г. Н. Антонов, д-р техн. наук, доцент

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

Е. И. Глушанков, д-р техн. наук, проф.

Е. А. Горин, д-р эконом. наук, проф.

С. В. Дворников, д-р техн. наук, проф.

В. Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф.

Б. П. Ионов, д-р техн. наук, проф.

Д. В. Казунин, д-р техн. наук

Р. Н. Караев, канд. техн. наук

В. В. Кобзев, д-р техн. наук, проф.

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

П. А. Кротов, д-р истор. наук, проф.

Д. И. Кузнецов, д-р техн. наук, доцент

П. И. Малеев, д-р техн. наук

Д. В. Никущенко, д-р техн. наук

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

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

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

А. А. Родионов, д-р техн. наук, проф.

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

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

А. Б. Фомичёв, д-р техн. наук, проф.

В. И. Черненко, д-р техн. наук, проф.

Редакция

Тел./факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Редактор

Т. И. Ильичёва

Дизайн, верстка

С. А. Кириллов, В. Л. Колпакова

Адрес редакции

190068 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»,

190068, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Электронная версия журнала

размещена на сайте ООО «Научная электронная

библиотека» www.elibrary.ru и включена

в Российский индекс научного цитирования

Решением Президиума ВАК журнал «Морской вестник»

включен в перечень ведущих научных журналов

и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть

опубликованы основные научные результаты диссертаций

на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

Подписка на журнал «Морской вестник»

(индекс ПМ 467) может быть оформлена по

каталогу Почты России «Подписные издания»

или непосредственно в редакции журнала через

издательство «Мор Вест»

Отпечатано в ООО «Типография «Премиум-пресс»

Адрес типографии: 190020, Санкт-Петербург,

Нарвский пр., д.18 лит. А

Тираж 250 экз. Заказ № 893

Дата выхода в свет – 17.06. 2024

Каталожная цена – 675,42 руб.

Ответственность за содержание информационных и

рекламных материалов, а также за использование

сведений, не подлежащих публикации в открытой

печати, несут авторы и рекламодатели. Перепечатка

допускается только с разрешения редакции



Editorial Council

Co-chairman:

M.V. Alexandrov, General Director JSC SSTC,
President of the Association
of Shipbuilders of St. Petersburg and Leningrad Region

A.L. Kashin, chairman of the board of directors
JSC NPO Zavod Volna

V.S. Nikitin,

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

G.A. Turichin, Rector SPbSMTU

Council Members:

A.A. Aslanyan, General Director
JSC RPF Meridian

I.Yu. Burtsev, Acting Director JSC CRIME

V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMDB Malachite

S.G. Filimonov, General Director
JSC Concern Morflot

V.E. Gel, General Director JSC MC Radiostandart

K.G. Golubev, General Director JSC Almaz CMDB

S.N. Iryutin, Chairman

St. Petersburg Marine Assembly

E.A. Konov, Director

JSC Publishing House Mor Vest

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

N.V. Kulyk, General Director JSC NPO Zavod Volna

A.V. Kuznetsov, chairman of the board of directors
JSC Armalit

L.G. Kuznetsov, General Designer

JSC Compressor

I.M. Mukhutdinov, General Director

JSC Almaz Shipbuilding Company

G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR

O.A. Ostapko, General Director

JSC Severnoye Design Bureau

A.A. Pavlov, General Director JSC NTI Radiosvyaz

E.A. Rylov, General Director JSC PKB RIO

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

V.A. Seredokho, General Director JSC SNSZ

K.Yu. Shilov, General Director

JSC Concern SPA Avrora

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

M.V. Zakharov, General Director

JSC Pumori-north-west

P.A. Zubkov, General Director MCS LLC

ABSTRACTS

Governor of St. Petersburg A.D. Beglov visited the Research and Production Association NPO Zavod Volna..... 1

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

S. Yu. Afanas'eva, A. V. Koshelev. *Self-hauling dredgers: needs, prospects, characteristics. Part 1* 7

M. G. Balashov, A. B. Vaganov, B. P. Ionov, Yu. F. Orlov, A. Yu. Panov, V. N. Savinov, S. N. Khrunkov. *Modern problems of designing floating cranes* 12

L. I. Vishnevsky, O. P. Orlov, V. N. Polovinkin. *On the issue of the reliability of the results of numerical simulation of flow around bodies using software products* . 18

P. A. Zubkov, M. G. Voytovich. *Increasing the operational efficiency of the ship through the use of modern structural materials and technologies for thermal insulation of ship hull structures* 22

A. V. Shlyakhtenko – 75 years old..... 27

O. P. Orlov, T. A. D'yakova. *On the occasion of the 100th anniversary of the birth of Professor I. T. Egorov*..... 28

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

G. N. Muru. *Assessing the capabilities of a ship repair company on efficient repair of marine equipment. To the 70th anniversary of the creation of the GUSRZ and 51 CDTISR*..... 30

P. A. Zubkov, A. A. Petrova. *Modern sandwich panels as a system for covering rooms on ships*..... 35

V. V. Kharitonov, I. A. Vasil'ev. *Inspection and repair issues reinforced concrete structures of composite floating docks* 37

Sredne-Nevisky Shipyard builds passenger catamarans 41

N. M. Vikhrov – 75 years old..... 43

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

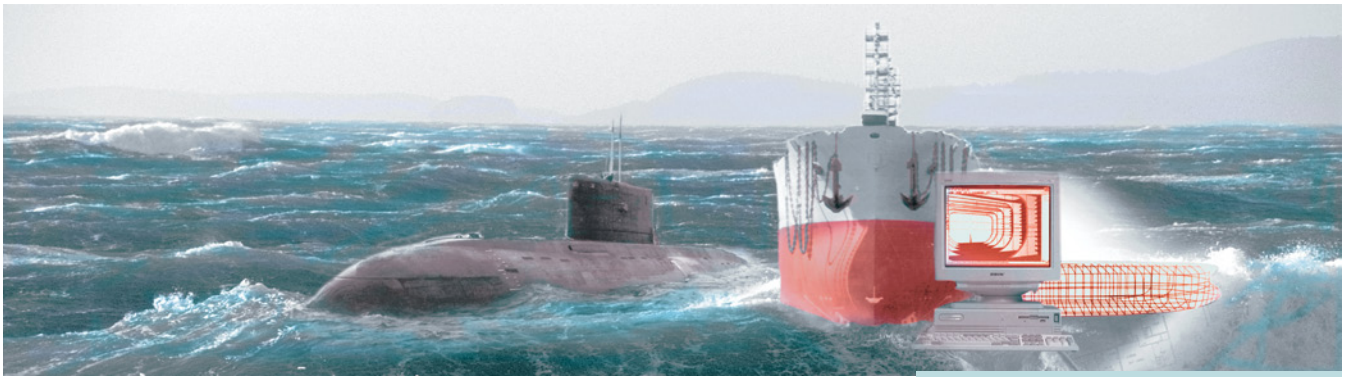
K. G. Golubev, V. V. Baranovsky, I. A. Ivashchenko. *Analysis of risks and threats to the technical base of ship gas turbine construction due to the lack of serial supplies of gas turbine engines mastered by PJSC UEC-Saturn*..... 44

Yu. S. Samyckho. *Justification for the use of a systems approach when making changes to the design process of nuclear power plants for the submarine fleet*..... 51

I. I. Khryashchev, D. V. Danilov, E. A. Shiryaev. *New domestic materials for additive manufacturing developed by PJSC UEC-Saturn and their use in gas turbine engines for marine purposes*..... 53

A. V. Burakov, S. M. Tomashevsky, I. A. Tomashevskaya, S. Yu. Titova, D. V. Balakshina. *Creation of shipboard systems for drying, cleaning, storing and monitoring the parameters of compressed air for power plants, including ships of the Navy and civil fleet* 55

A. G. Mal'tsev, K. G. Mikheev, S. V. Ogurtsov, V. V. Pushkarev. *Calculation of hydrodynamic noise levels of pipeline fittings using numerical methods*..... 61



I. P. Leonova, A. Z. Bagerman, M. N. Burov. Test results of a gas turbine engine with typical flow path faults. The influence of seawater salts on the operation of a gas turbine engine 66

A. A. Khalyavkin, A. V. Shamaev, I. N. Medvedev. Application of pressed birch wood for the manufacture of inserts for sterewood bearings of ships 70.

V. K. Rumb, Htoo Naing Aung. Taking into account non-stationary loading when predicting the fatigue life of ship shafting 72.

A. N. Dyadik, A. V. Balakin, A. V. Yushkov. Design results of an integrated automated control system for an air-independent power plant with an electrochemical generator 75

N. S. Vakhrushina, A. N. Dyadik. Heat exchange in the energy compartment of an autonomous uninhabited underwater vehicle in the «hovering» mode 79

D. M. Kuchinsky, D. O. Glazyrina, S. A. Paintsev, Ya. A. Boyko. Determination of the heat capacity of methane using the equation of state of a real gas 83

A. A. Solov'ev. The use of polyamide coatings in hydraulic cylinders of a volumetric hydraulic drive 85

B. Yu. Semyonov. Modification of the current control channel of shipboard systems for compensating low-frequency electromagnetic fields in order to increase noise immunity 89

DESIGN AND TECHNOLOGY OF INSTRUMENT MAKING AND RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

C. M. Dotsenko, D. V. Zvezdaryov, V. V. Igumnov, I. A. Ustinov, S. V. Filippov, E. A. Rylov, I. A. Polkovnikov. Issues of modeling and artificial intelligence in the system of end-to-end conceptual design of special-purpose control systems and complexes 93

A. V. Davydov, S. S. Popov, A. S. Popov. Changes in the volume of video traffic in transport communication network channels 98

V. A. Kaznacheev, M. V. Plyusnin. Special technological processes in radio-electronic equipment 103

A. K. Aristova, Yu. A. Stepanov, K. A. Smirnov. The power supply unit for anodes of the fouling protection system for pipelines of the vessels outboard systems 107

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

K. V. Lapshin. Method of generating generalized descriptions for temporal knowledge bases in the loop modeling of a complex dynamic object 109

A. E. Vasil'ev, A. V. Wegner, V. A. Karpenko, Ye Min Htet, Htut Shine. Fuzzy-based motion control systems for small-size unmanned vessel 112

A. V. Saushev, V. O. Tyrva, V. I. Smirnov, A. A. Temkin. Anthropomorphic control in the ergatic system «navigator-ship» 116

IN THE ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

V. S. Nikitin. Technical Committee for Standardization TK416 «Hyperbaric Technology» – 25 years 119

IN THE MARINE ASSEMBLY

S. N. Iryutin, M. N. Savin, V. N. Torba. In the radiance of St. Andrew's flag 121

Editor-in-Chief

E.A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D.S. Glukhov

Phone: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Editorial Collegium

G.N. Antonov, D. Sc., docent

V.V. Baranovsky, D. Sc., Prof.

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

S.V. Dvornikov, D. Sc., Prof.

A.B. Fomichyov, D. Sc., Prof.

E.I. Glushankov, D. Sc., Prof.

E.A. Gorin, D. Sc., Prof.

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

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

D.V. Kazunin, D. Sc.

R.N. Karaev, Ph. D.

V.V. Kobzev, D. Sc., Prof.

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

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

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

D.I. Kuznetsov, D. Sc., docent

P.I. Maleev, D. Sc.

D.V. Nikushchenko, D. Sc.

Yu.F. Podoplyokin, D. Sc., Prof., member of the Academy of Rocket and Artillery of Sciences of Russia

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

A.V. Pustoshny, D. Sc., Prof., corresponding member of the Academy of Sciences of Russia

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

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

N.V. Savishchenko, D.Sc., Prof.

Editorial staff

Phone/Fax +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Editor

T.I. Ilyichiova

Design, imposition

S.A. Kirillov, V.L. Kolpakova

Editorial office

office 13N, 84, Nab. r. Moyki, 190068, 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 13N, 84, Nab. r. Moyki, 190068, St. Petersburg

The magazine electronic version is placed on the site LLC «Nauchnaya elektronaya biblioteka» www.elibrary.ru and is also included to the Russian index of scientific citing

By the decision of the Council of VAK the Morskoy Vestnik magazine is entered on the list of the leading scientific magazines and editions published in the Russian Federation where basic scientific outcomes of doctoral dissertations shall be published.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

You can subscribe to the Morskoy Vestnik magazine using Russian Post Catalog «Subscription editions» (subscription index ПМ 467) or directly at the editor's office via the Morvest Publishing House

Printed by Premium Press Printing House LLC

Printing house address 190020 St. Petersburg

Narvsky prospect, 18, letter A

Circulation 250 . Order № 893

Publication date – 17.06.2024

Catalog price – 675,42 rubles

Authors and advertisers are responsible for contents of information and advertisement materials as well as for use of information not liable to publication in open press.

Reprinting is allowed only with permission of the editorial staff

Обсуждения, прошедшие 27–28 февраля 2024 г. в рамках VII Конгресса «Гидротехнические сооружения и дноуглубление» [1], показали, что проблемы строительства в России собственного диверсифицированного дноуглубительного флота не теряют своей остроты. Это обусловлено причинами, перечисленными ниже:

1. Реализация инвестиционных проектов по приросту грузооборота морских портов к 2030 г. предполагает комплексное развитие как внутрипортовых акваторий, так и подходов к ним. Вне трассы Северного морского пути (СМП) этими портами являются в первую очередь Усть-Луга, Восточный, Ванино, Находка, Новороссийск. В рамках инвестпроектов необходимо проведение дноуглубительных работ в акваториях проекта «Арктик СПГ 2», порта Енисей, терминала на мысе Наглейный, порта Бухта Север. Так, объем капитального дноуглубления в акваториях морских портов, поднадзорных ФГУП «Росморпорт», и подходов к ним должен составить 35 млн. м³ до 2035 г. Объем капитального дноуглубления на СМП в 2024 г. по плану составит более 4,5 млн м³; в 2025 г. – 7,5 млн м³.

2. В акваториях морских портов как на трассе СМП, так и в неарктической зоне необходимо проведение ремонтных дноуглубительных работ. До 2030 г. планируется выполнить около 41,7 млн м³ ремонтного дноуглубления. Капитальные вложения в эти проекты оцениваются в 180 млрд. руб. [1].

3. В 2022 г. с российского рынка ушли ведущие западноевропейские компании, работающие в области дноуглубления: Van Oord [2], Boskalis [3] (обе – Нидерланды), Jan De Nul [4], Deme Group [5] (обе – Бельгия). Суда этих компаний проводили до 90–95% дноуглубительных работ в РФ [6].

Привлечение же подрядчиков из Азии сталкивается с рядом трудностей. Например, несмотря на то, что китайская компания CCCS Group обладает крупнейшим в мире дноуглубительным флотом, перевод специализированного судна к месту проведения работ имеет высокую стоимость, в том числе за счет большого «транспортного плеча». Оно обуславливается низким ледовым классом земснарядов или его отсутствием у них, что вынуждает их транспортировать через Суэцкий канал. Также заявляется о нехватке у азиатских подрядчиков судов с необходимыми характеристиками и о нехватке некоторых компетенций [1].

4. Необходимость привлечения иностранных компаний связана с тем, что российские дноуглубительные суда час-

САМООТВОЗНЫЕ ЗЕМСНАРЯДЫ: ПОТРЕБНОСТИ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ХАРАКТЕРИСТИКИ

ЧАСТЬ 1

С. Ю. Афанасьева, инженер-конструктор 2-й категории,
А. В. Кошелев, гл. конструктор по перспективному проектированию,
ООО ПКБ «Петробалт»,
контакт. тел. (812) 644 5686

Таблица 1

Российские дноуглубительные компании

Компания	Характеристика
ФГУП «Гидрографическое предприятие» (Росатом) [10]	Имеет свой флот. Дноуглубительные суда берет в аренду или нанимает подрядчиков
ООО «Строительная дноуглубительная компания» [11]	Дноуглубительные суда берет в аренду или нанимает подрядчиков
ФГУП «Росморпорт» [12]	Имеет порядка 41 ед. технического и дноуглубительного флота
АО «Межрегионтрубопроводстрой» [13]	Имеет свой флот, в который входит 3 дноуглубительных судна
ООО «Фертоинг» [14]	Имеет свой флот. Дноуглубительные суда берет в аренду или нанимает подрядчиков

то не обладают характеристиками, отвечающими требованиям в соответствии с возлагаемыми на них задачами, прежде всего необходимой вместимостью грузовых трюмов. Помимо этого, возраст большинства судов приближается к предельному сроку их эксплуатации или превышает его: средний возраст российского дноуглубительного флота составляет около 40 лет [7].

Планы развития инфраструктуры СМП [8], а также развития собственно СМП до 2035 г. [9] предполагают проработку планов строительства судов дноуглубительного флота для их использования в акваториях Севера.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТРАСЛИ

Компании, занимающиеся проведением дноуглубительных работ в России, перечислены в табл. 1.

В отрасли продолжается обсуждение необходимости создания единого центра координации и принятия решений, который будет координировать дноуглубительные работы в российских портах. Для более эффективного использования

земснарядов в акваториях СМП по заказу ООО «Строительная дноуглубительная компания» планируется проектирование и строительство двух самоотвозных землесосов с объемом трюма 5000 м³ и ледовым классом Ice2 [15].

Кроме того, ФГУП «Гидрографическое предприятие» планирует начать работу по созданию собственного дноуглубительного флота. В его состав войдут: 4 самоотвозных землесоса емкостью трюма от 4000 до 10 000 м³, 1 одночерпаковый земснаряд, 2 судна для выравнивания дна, 2 грунтоотвозные шаланды с объемом трюма 1000 м³ и 2 гидрографических судна [16].

Проработки ПКБ «Петробалт» в данной области представлены в последующих разделах.

ФЛОТ, ЗАДЕЙСТВОВАННЫЙ В РОССИЙСКИХ ПОРТАХ

В табл. 2 приведены суда, задействованные в строительном и ремонтном дноуглублении российских портов в период с 2010 г. по настоящее время и имеющие объем трюмов 2000 м³ и более.

Таблица 2

Земснаряды, задействованные в российских портах

Место эксплуатации	Период эксплуатации	Компания	Название судна	ИМО судна	Объем трюмов, м ³
Сочи	2010–2011	DEME Group	«Brabo»	9382372	11 650
Тамань	2011–2012	DEME Group	«Brabo»	9382372	11 650
		DEME Group	«Uilenspiegel»	9247467	13 700
Сабетта	2011–2012	Jan De Nul	«Francis Beaufort»	9262780	11 000
		Jan De Nul	«Leiv Eiriksson»	9429584	45 458
	2012	Jan De Nul	«Alexander von Humboldt»	9166845	9000

Таблица 2 (Продолжение)

Земснаряды, задействованные в российских портах

Место эксплуатации	Период эксплуатации	Компания	Название судна	ИМО судна	Объем трюмов, м ³
Сабетта	2014–2016	Jan De Nul	Pinta	9083249	3400
		Jan De Nul	«Amerigo Vespucci»	8310645	3500
		Jan De Nul	«De Bougainville»	9303352	3700
		Jan De Nul	«Francesco Di Giorgio»	9280201	4400
		Jan De Nul	«Al-Idrisi»	9572707	7500
		Jan De Nul	«James Cook»	9020261	11 750
		Jan De Nul	«Bartolomeu Diaz»	9618991	14 000
	Jan De Nul	«Gerardus Mercator»	9119335	18 000	
Северный поток-2	2019	Van Oord	«Dravo costa dorada»	8611180	2548
		Boskalis	«Freeway»	9691682	4250
		Van Oord	«Ham 317»	9208497	4400
		Boskalis	«Strandway»	9664457	4500
		Boskalis	«Shoalway»	9556337	4503
		Van Oord	«Volvox Olympia»	9268370	4871
Россия	2016–2024	ФГУП «Росморпорт»	«Северная Двина»	9752644	2000
	2018–2024	ФГУП «Росморпорт»	«Белое море»	9775696	2000
	2020–2024	ФГУП «Росморпорт»	«Юрий Маслюков»	9848912	2000

Данные табл. 2 демонстрируют, что в дноуглубительных работах, проводимых в акваториях России, участвовали в основном суда, принадлежащие ведущим западноевропейским компаниям. Суда

ФГУП «Росморпорт» проекта Damen TSHD 2000 («Северная Двина», «Белое море», «Юрий Маслюков») имеют наименьшую вместимость из приведенных.

ТИПОВЫЕ ПРОЕКТЫ САМООТВОЗНЫХ ЗЕМСНАРЯДОВ

Основными разработчиками проектов судов дноуглубительного флота являются голландские компании Damen [17] и Royal IHC [28]. Незначительную конкуренцию им составляют шведская FKAB [19] и голландская Vosta Lmg [20]. Данными компаниями спроектировано большинство судов, принадлежащих мировым лидерам дноуглубления.

В табл. 3 представлены основные характеристики самоотвозных землесосных судов, разработанных указанными выше компаниями.

ТИПОВЫЕ РАЗМЕРЕНИЯ САМООТВОЗНЫХ ЗЕМСНАРЯДОВ

Анализ характеристик более 80 самоотвозных землесосов, имеющих вместимость от 966 до 46 000 м³, позволяет определить зависимости их основных характеристик от вместимости. Эти зависимости представлены на рис.1 – 6.

Аппроксимации, графики и численные значения, которые приведены на рис. 1 – 6, характеризуют типовые размеры самоотвозных земснарядов.

Анализ более 30 судов вместимостью от 1000 до 12 000 м³ показывает,

Таблица 3

Типовые проекты самоотвозных земснарядов

Разработчик	Проект	Длина габаритная, м	Ширина, м	Осадка при дноуглублении, м	Объем трюмов, м ³	Глубина всасывания, м	Диаметр трубопровода всасывания, мм	Мощность ГД, кВт	Мощность носового ПУ, кВт	Пропульсивный комплекс
Портовые										
Royal ICH	Easydredge 700	57,20	11,40		700,00	12–20	400	2×324		2×ВРШ
	Easydredge 1600	71,15	14,00	4,50	1600	12–20	500	2×701	1×320	2×ВРШ
	Easydredge 2700	81,75	15,80	5,50	2700	15–25	700	2×1250	1×350	2×ВРШ
	Easydredge 3700	92,95	16,30	6,20	3700	15–25	800	2×1450	1×470	2×ВРШ
Damen	TSHD1000PM	58,70	12,20	3,80	850-1000	20	400	2×450	1×280	2×ВРК
	TSHD1500PM	70,00	13,20	4,50	1500-1700	20	500	2×700	1×280	2×ВРК
	TSHD2000PM	76,00	14,20	4,90	2000-2200	25	600	2×850	1×280	2×ВРК
	TSHD2500PM	82,40	15,20	5,40	2500-2800	25	700	2×1250	1×280	2×ВРК
Морские										
Royal ICH	BEAGLE 4	87,25	19,60	6,50	4000	25	600	2×1835	2×200	2×ВРШ
	BEAGLE 6	99,50	22,60	7,30	6000	27,5	700	2×2750	2×300	2×ВРШ
	BEAGLE 8	104,50	24,20	8,20	8000	27,5	800	2×3600	2×375	2×ВРШ
	BEAGLE 12	127,00	28,40	9,00	12000	36,00	900	2×5400	2×485	2×ВРШ
Damen	TSHD2000MP	73,00	18,40	4,70	2200	20	600	2×1200	1×300	2×ВРШ
	TSHD3000MP	81,00	18,40	5,00	3100	25	700	2×1350	1×400	2×ВРШ
	TSHD4000MP	88,50	19,60	6,40	4600	30	800	2×1550	1×450	2×ВРШ
	TSHD5000MP	91,50	21,00	6,90	5000	30	900	2×1750	1×500	2×ВРШ
Vosta Lmg	TSHD 2500	77,10	17,00	5,30	2500	20 (25)	600	2×1118		2×ВФШ
	TSHD 5000	91,30	21,00	7,20	5000	22 (27)	800	2×1590		2×ВРШ
	TSHD 8000	113,10	24,00	8,20	8000	30 (35)	1000	2×2530	1×400	2×ВРШ
FKAB	THSD 2400*	83,30	15,90	5,00	2400	25		2×500	1×300	2×ВФШ
	THSD 2500*	82,00	16,00	5,50	2500			2×1720	1×400	2×ВФШ
	THSD 3400*	93,25	19,80	5,00	3400			3×1350	1×350	2×ВРК
	THSD 3700*	99,50	19,40	5,85	3700	32		2×1850	1×550	2×ВРК
	THSD 3700*	99,50	19,40	5,85	3700			2×1850	1×500	2×ВРК
	THSD 6000*	111,30	19,40	3,8/7,0	6000	35–75		2×2985	2×450	2×ВРК

* Условное наименование проекта

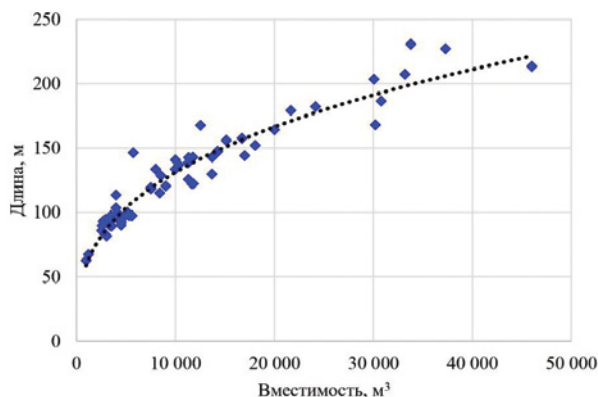


Рис. 1. Зависимость длины от вместимости

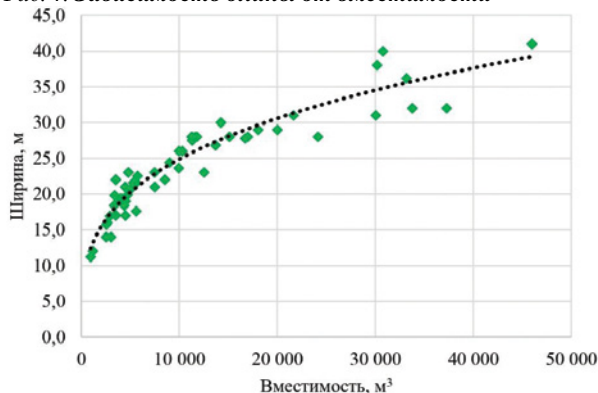


Рис. 2. Зависимость ширины от вместимости

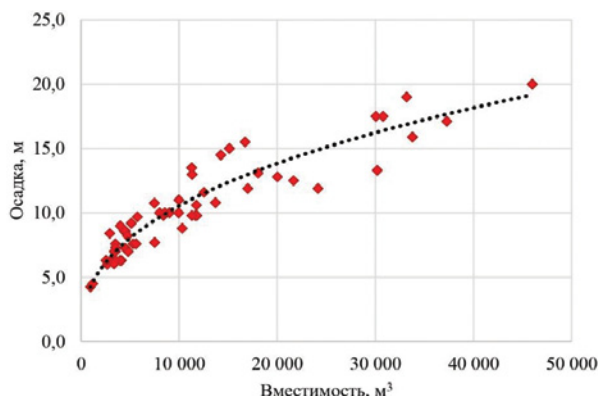


Рис. 3. Зависимость осадки от вместимости

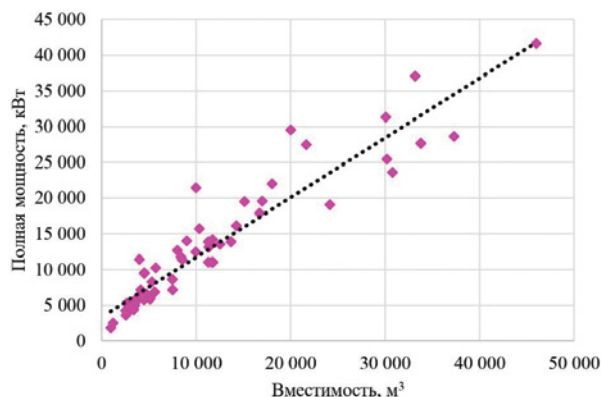


Рис. 4. Зависимость полной мощности от вместимости

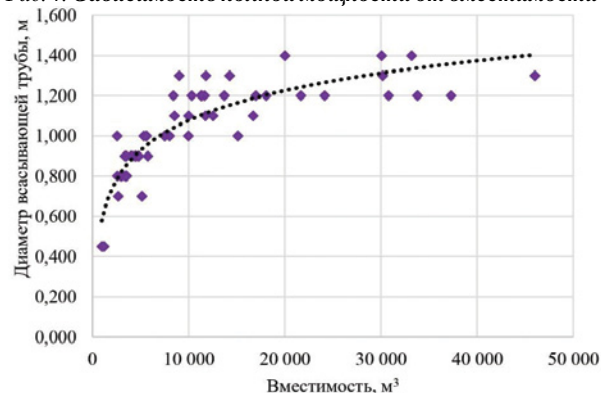


Рис. 5. Зависимость диаметра всасывающей трубы от вместимости

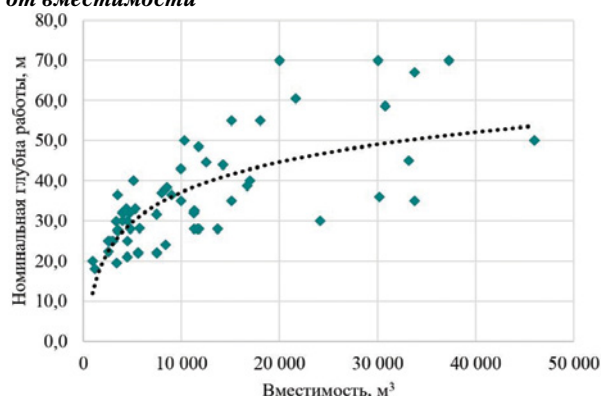


Рис. 6. Зависимость номинальной глубины работы от вместимости

что подавляющее большинство их оснащается дизельной энергетической установкой (рис. 7). Среди движителей большинство представлено винтами регулируемого шага (ВРШ), винторулевые колонки (ВРК) и винты фиксированного шага (ВФШ) применяются реже (рис. 8).

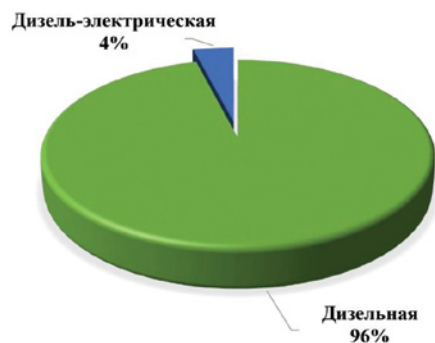


Рис. 7. Энергетическая установка

ОГРАНИЧЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

В условиях санкционной политики иностранных государств при проектировании земснарядов следует учитывать возможности отечественного машиностроения.

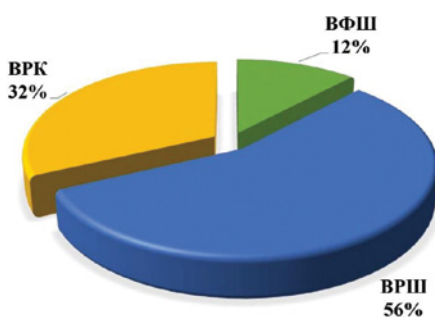


Рис. 8. Движители

Выполнение требований Постановления Правительства №719 от 17.07.2015 г. [21] при строительстве земснарядов будет способствовать получению льгот на создание собственного дноуглубительного флота, а также повысит независимость отечественных дноуглубительных предприятий от иностранных комплектующих и сервисных компаний. Получат развитие компетенции и опыт машиностроителей, проектантов, судостроителей в области морского специализированного флота.

Ключевыми позициями для земснарядов являются системы позиционирования судна, автоматизации и контроля грунтозабора, грунтозаборное, спускоподъемное, насосное оборудование и пропульсивный комплекс, поэтому именно на них в первую очередь влияют ограничения отечественного производства.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОЕКТА ПКБ «ПЕТРОБАЛТ»

Строительство земснарядов с трюмами малых объемов и по проектам Damen TSHD1000 и TSHD2000 уже освоено в России, и документация имеется на заводах. Строительство крупных земснарядов на отечественных верфях к настоящему моменту не велось.

На основании анализа возможностей и предложений отечественного дноуглубительного машиностроения, проведенного ПКБ «Петробалт», можно сделать выводы об оптимальных характеристиках самоотвозного трюмного землесоса для его эксплуатации по предстоящим российским проектам. Так, применение дизельной энергетической установки, приводящей в действие движитель и насосное оборудование, позволит уменьшить количество устанавливаемого на борту оборудования в сравнении с дизель-электрической энергетической установкой.

Использование в качестве движителей двух винтов регулируемого шага в насадке позволит обеспечить качественное управление и позиционирование судна с меньшими, по сравнению с винторулевыми колонками, эксплуатационными расходами.

Максимальный диаметр грунтозаборного оборудования, выпускаемого отечественными машиностроительными предприятиями, составляет 700 мм.

Оптимальные характеристики самоотвозного трюмного землесоса для акваторий российских морей представлены ниже. В настоящий момент ООО «ПКБ «Петробалт» ведет разработку проекта землесоса данных характеристик (рис. 9).

ВЫВОДЫ

Для наилучшего обеспечения возрастающей потребности в дноуглубительных работах следует создавать самоотвозный трюмный землесос типоразмерами, как у землесосов проектов Damen TSHD5000MP, Royal ICH BEAGLE6, Vosta Lmg TSHD5000 или FKAB TSHD6000.

Перечисленные прототипы являются основой для проекта, разрабатываемого ООО ПКБ «Петробалт».

Одновременно с проектированием и строительством судов данного типоразмера следует инициировать работы по созданию более совершенных образцов оборудования, направленных на последующее создание судна большей грузоподъемности и производительности. По нашим оценкам, объем трюмов перспективного судна составит около 11 000 – 12 000 м³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Санкции отравились на дно // ИАА «ПортНьюс» – URL: <https://portnews.ru/projects/project65/> (дата обращения: 12.04.2024).
2. Van Oord: официальный сайт URL: <https://www.vanoord.com/en/> (дата обращения: 12.04.2024).

3. Boskalis: официальный сайт URL: <https://boskalis.com/> (дата обращения: 12.04.2024).
4. De Nul Jan. Официальный сайт URL: <https://www.jandenul.com/> (дата обращения: 12.04.2024).
5. Deme Group: официальный сайт URL: <https://www.deme-group.com/> (дата обращения: 12.04.2024).
6. Дноуглубление в России: справимся без «недрузей»? // Корабел.ру URL: https://www.korabel.ru/news/comments/dnougublennie_v_rossii_spravimsya_bez_nedruzey.html (дата обращения: 12.04.2024).
7. Строящийся в России дноуглубительный флот обеспечат отечественной арматурой // Корабел.ру URL: https://www.korabel.ru/news/comments/stroyaschiysya_v_rossii_dnougublitelnyy_flot_obespechat_otechestvennoy_armaturoy.html (дата обращения: 12.04.2024).
8. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении прилагаемого плана развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 г.» от 21.12.2019 г. № 3120-р.
9. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении плана развития Северного морского пути на период до 2035 г.» от 1.08.2022 г. № 2115-р.
10. ФГУП «Гидрографическое предприятие»: официальный сайт URL: <https://rosatomport.ru/> (дата обращения: 12.04.2024).
11. ООО «Строительная дноуглубительная компания»: официальный сайт URL: <https://cdc.business/> (дата обращения: 12.04.2024).
12. ФГУП «Росморпорт»: официальный сайт URL: <https://www.rosmorport.ru/> (дата обращения: 12.04.2024).
13. АО «Межрегионтрубопроводстрой»: официальный сайт URL: mrtc.rf (дата обращения: 12.04.2024).
14. ООО «Фертоинг»: официальный сайт URL: <https://fertoing.ru/> (дата обращения: 12.04.2024).
15. На Северном морском пути появятся земснаряды ледового класса // Судостроение. инфо URL: <https://sudostroenie.info/novosti/41124.html> (дата обращения: 12.04.2024).
16. Обеспечить технологический суверенитет // Транспорт России – URL: <https://transportrussia.ru/razdely/transportnoemashinostroenie/9904-obespechit-tehnologicheskij-suverenitet-2.html> (дата обращения: 12.04.2024).
17. Damen: дноуглубительное оборудование – URL: <https://www.damen.com/companies/damen-dredging-equipment> (дата обращения: 12.04.2024).
18. Royal IHC: дноуглубление – URL: <https://www.royalihc.com/dredging> (дата обращения: 12.04.2024).
19. FKAB: дноуглубление – URL: <https://www.fkab.com/dredging/> (дата обращения: 12.04.2024).
20. Vosta Lmg: официальный сайт – URL: <https://vostalmg.com/> (дата обращения: 12.04.2024).
21. Постановление Правительства РФ «О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации» от 17.07.2015 г. № 719 (с изменениями и дополнениями). ■

Продолжение следует

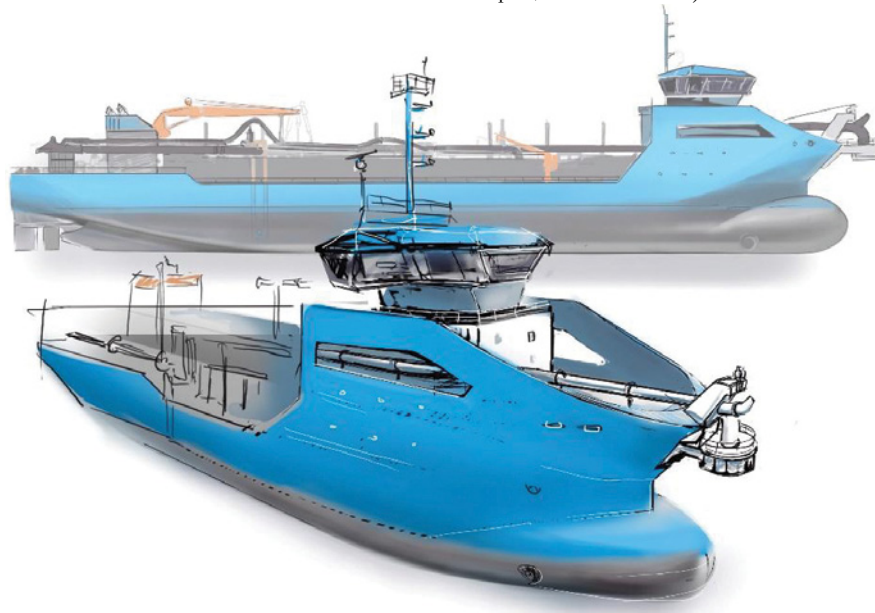


Рис. 9. Визуализация общего вида судна

Оптимальные характеристики самоотвозного трюмного землесоса

Характеристика	Значение
Объем трюмов, м ³	6000
Длина, м.....	Ок. 101,5
Ширина, м.....	Ок. 22,5
Осадка при дноуглублении, м.....	Ок. 7,1
Глубина работы, м.....	До 25
Диаметр всасывающей трубы, мм.....	700
Мощность ГД, кВт.....	Ок. 2×3000
Энергетическая установка –.....	Дизельная
Движители –.....	2×ВРШ

Плавающие краны как специальные плавающие сооружения появились в середине XX столетия и применялись на реках, озерах и в закрытых морских портах при обработке судов с различными грузами (песок, гравий, щебень, лес, уголь и т. п.). Один из первых отечественных плавокранов был построен во второй половине XIX в. на Севастопольском судостроительном заводе. Имел грузоподъемность 25 т при водоизмещении 350 т и скорость 5 уз. Вылет стрелы составлял 7,5 м от форштевня, высота подъема нока стрелы – 60 м.

С развитием освоения континентального шельфа выросла потребность в плавающих кранах с повышенными мореходными качествами, которые способны работать в открытом море. Сокращение времени монтажа во время благоприятных погодных условий привело к росту массы монтируемых блоков. Это послужило толчком к созданию плавающих кранов большой грузоподъемности с сохранением хороших мореходных качеств – полупогружных плавающих кранов (ППК). ППК применяются при строительстве и обустройстве стационарных буровых платформ и глубоководных оснований, забивке свай, прокладке и ремонте подводных трубопроводов и т. п.

Примеры таких плавокранов:

- полупогружные плавающие краны «Balder» и «Hermod» (1978–1979 гг.), оборудованные двумя полноповоротными кранами грузоподъемностью 1815 т и 2720 т, с 1986–1988 гг. 3600 т и 4500 т соответственно (рис. 1);
- плавающий кран «Narwhal» (DB-101, 1978 г.), грузоподъемностью 1815 т, имеющий один нижний корпус, на который опираются 6 стабилизирующих колонн прямоугольного сечения (рис. 2);
- «Saipet 7000» с двумя полноповоротными кранами грузоподъемностью по 7000 т каждый (рис. 3);
- «Thialf» (DB-102, 1985 г.) с двумя полноповоротными кранами грузоподъемностью по 7100 т (рис. 4);

АРХИТЕКТУРА ПОЛУПОГРУЖНЫХ ПЛАВУЧИХ КРАНОВ

Основными конструктивными элементами ППК являются верхний корпус (ВК), стабилизирующие колонны, нижние корпуса (НК), реже один корпус [1, 2]. На ВК устанавливаются верхнее строение (собственно кран или стрела), жилой блок; специальное оборудование, внутри корпуса – энергетическая установка, различное оборудование, снабжение, запасы и т. д. [3, 4].

Движительный комплекс, балластные цистерны, насосы расположены

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛАВУЧИХ КРАНОВ

*М. Г. Балашов, канд. техн. наук, доцент, Севастопольский ГТУ,
А. Б. Ваганов, д-р техн. наук, проф., Нижегородский ГТУ им. Р. Е. Алексеева,
Б. П. Ионов, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский ГМТУ,
Ю. Ф. Орлов, д-р физ.-мат. наук, проф.,
А. Ю. Панов, д-р техн. наук, проф.,
В. Н. Савинов, д-р техн. наук, проф.,
С. Н. Хрунков, д-р техн. наук, зав. кафедрой,
Нижегородский ГТУ им. Р. Е. Алексеева,
контакт. тел. + 7 (902) 786 8118*

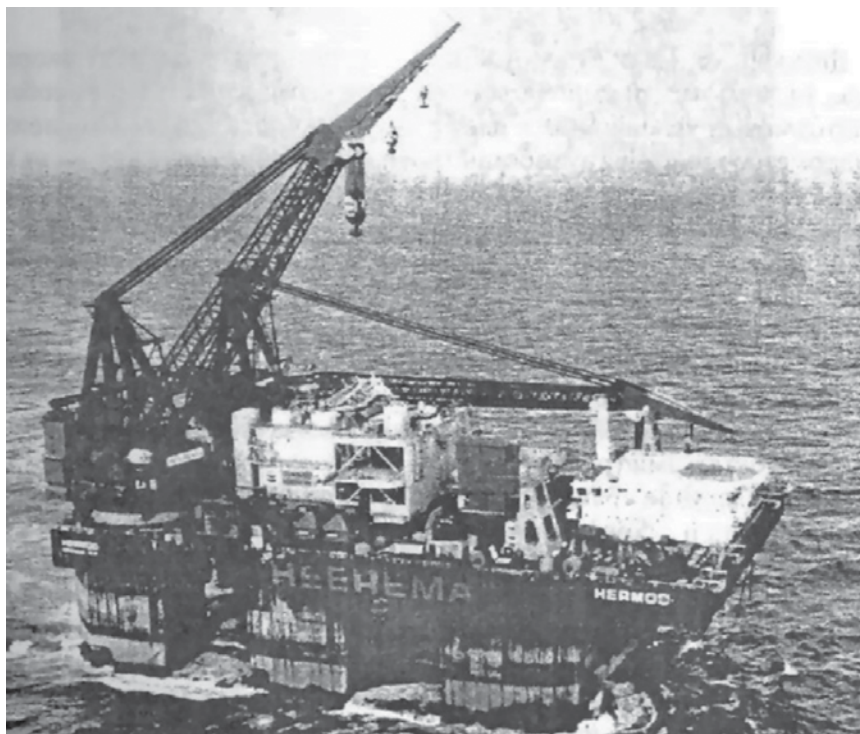


Рис. 1. Плавающий кран «Hermod»

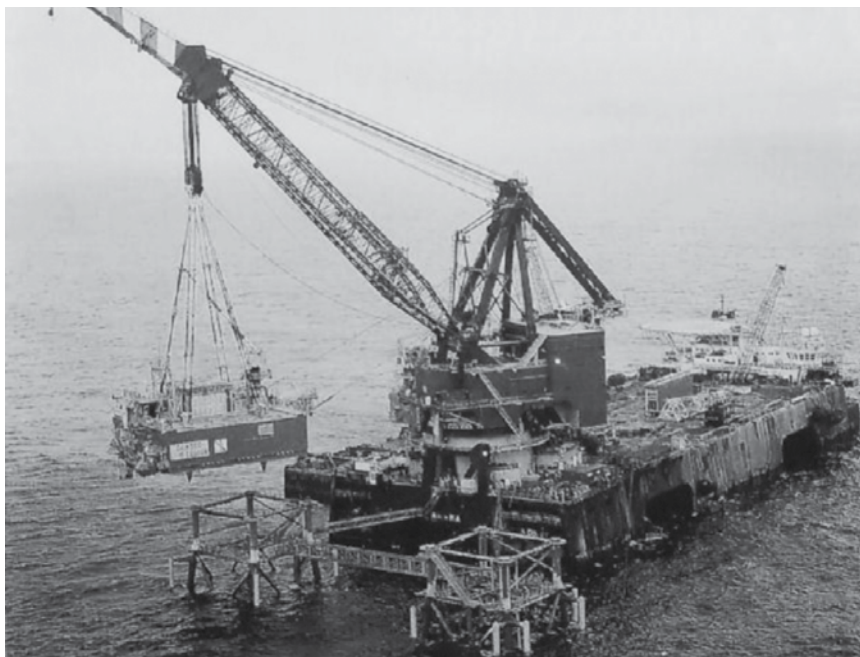


Рис. 2. Плавающий кран «Narwhal» DB-101

в НК. Стабилизирующие колонны соединяют между собой ВК и НК, обеспечивают остойчивость ППК в рабочем положении и штормовом отстое, заданное заглубление НК и возвышение ВК над поверхностью моря.

Благодаря конструктивным и эксплуатационным отличиям от однокорпусных понтонных кранов, кранов-катамаранов и крановых судов у ППК есть ряд важных преимуществ:

- большая площадь палубы для размещения блок-модулей средств океанотехники, хорошие условия для работы полноповоротного крана (рис. 5);
- умеренная и плавная качка;
- высокая остойчивость.

Наряду с этим имеется ряд недостатков:

- большая парусность;
- плохая ледопроездимость;
- большая металлоемкость.

Плавающие основания ППК характеризуются некоторым разнообразием. Группы плавающих оснований представлены на рис. 6.

В транспортном режиме такой плавкран идет, как катамаран, на нижних корпусах. При проведении грузовых, монтажных работ нижние корпуса за счет принятого балласта находятся под водой, остойчивость обеспечивается стабилизирующими колоннами и низким положением центра тяжести.

Верхнее строение (ВС) – это собственно грузоподъемный кран (стрела с механизмами и постом управления), смонтированный на плавучем основании [5]. Его конструктивное исполнение отличается большим разнообразием используемых механизмов, грузоподъемности, количества установленных кранов и т. п.

Плавающие краны с неповоротным верхним строением имеют большую грузоподъемность по сравнению с поворотными вариантами. По конструкции верхнее строение может быть стационарным [7] (рис. 8) или с качающейся стрелой [8].

Плавающие краны с полноповоротным верхним строением, их еще называют универсальными, самые распространенные. Верхнее строение такого типа позволяет плававшему крану, не изменяя своего положения, поднимать или опускать груз, поворачиваться и менять вылет стрелы, в том числе совмещая операции.

Стрела может быть выполнена монолитной (рис. 7) или ферменной (рис. 5). Само ВС по конструктивному исполнению может монтироваться на столе или на колонне. Количество кранов – один или два. Есть разные способы уравновешивания.

По способу перемещения плавающие краны бывают самоходные и несамоходные. Перемещение последних в район



Рис. 3. Плавающий кран «Saipem 7000» (с установкой для укладки подводных трубопроводов)

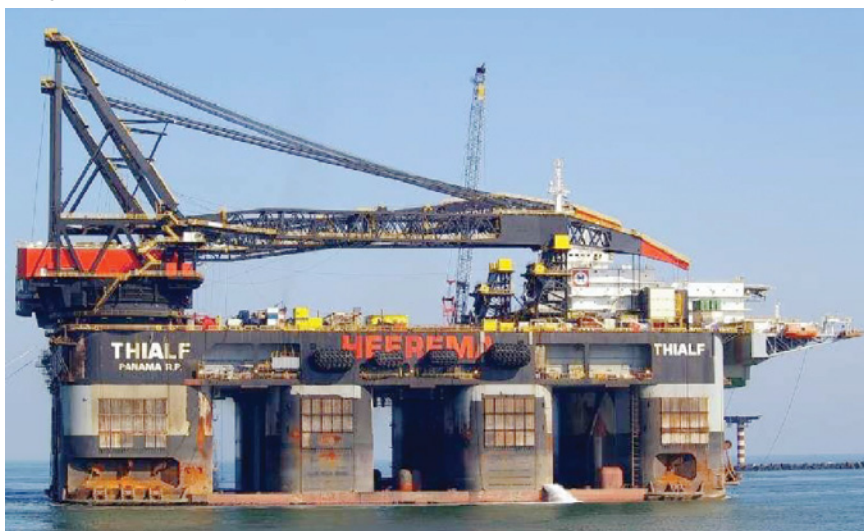


Рис. 4. Плавающий кран «Thialf»



Рис. 5. ППК в походном положении



Рис. 6. Группы плавучих оснований



Рис. 7. Судно с мачтовым краном



Рис. 8. Плавкран со специальным грузоподъемным устройством

работы осуществляется обслуживающими буксирами.

В качестве движительно-рулевого комплекса на самоходных ППК используются гребные винты в сочетании с обычным рулем или гребные винты в насадке и винторулевые колонки, которые могут быть выдвигаемыми. Возможна их комбинация [9].

При пассивной системе позиционирования плавучий кран удерживается в точке с помощью специальных якорей. Такая система обычно состоит из 10–16 якорей повышенной держащей силы с тросами большой длины.

Активная (динамическая) система представляет собой комплекс подруливающих устройств, имеющих автоматическую систему контроля и управления, с помощью которых плавучий кран удерживается в заданной точке. Например, плавучий кран «Saipet 7000» имеет 12 винторулевых колонок, обеспечивающих его позиционирование.

Комбинированная система предназначена для удержания на точке с помощью якорей и движительно-рулевых колонок.

Погодные и другие условия эксплуатации ППК устанавливаются в техническом задании на проект ППК при выполнении технико-экономического обоснования. Так, в пр. КС5000 полупогружного плавучего основания с одним полноповоротным краном грузоподъемностью 5000 т (ОАО «ЦКБ «Коралл») оговаривается возможность работы при высоте волны до 5,5 м и скорости ветра до 22 м/с. Это позволяет им не покидать место работ в случае ухудшения погодных условий и не уходить в порт-убежище, а продолжать рабочий режим до 300 дней в году [10]. Будем в последующих исследованиях придерживаться этих значений.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИКИ МОРСКИХ ПЛАВУЧИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОЛУПОГРУЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Рабочий режим для большинства ППК состоит в занятии корпусом определенной позиции на поверхности моря, необходимой для выполнения технологической операции, удержании этой позиции при весьма жестких допусках на отклонение под внешними воздействиями моря, целенаправленной смене позиции и последующего ее восстановления.

При позиционировании ППК проявляет себя как сложная техническая система, поведение которой не может быть оценено характеристиками типа АЧХ и ФЧХ. Косвенные и побочные движения корпуса оказываются неожиданными для оператора и могут привести

к созданию аварийной ситуации в подсистеме «средства позиционирования» и каскадным образом в других подсистемах. Ошибки операторов по позиционированию могут сделать эксплуатацию ППК вполне рискованной. Степень риска необходимо снижать как при проектировании ППК, так и при его эксплуатации. При этом рассматривать:

1. Взаимосвязь вертикальных перемещений корпуса, углов крена и дифферента с горизонтальными перемещениями – нелинейность объекта.

2. Воздействие шквала ветра – реакцию как системы.

3. Ситуацию сползания якоря или обрыва якорной связи – реакцию как системы.

4. Ситуация обрыва троса подвешенного груза – реакцию как системы.

5. Воздействие волны на полупогруженный корпус – сложность взаимодействия со средой.

6. Опасные угловые и вертикальные перемещения корпуса при динамическом принятии больших грузов.

7. Опасные углы раскачивания груза, подвешенного на тросе.

8. Влияние противокреновой системы и оценивать ее эффективность.

Поэтому разработка теоретических методов исследования позиционирования ППК в сложных эксплуатационных условиях в море, при ошибках операторов, при возникновении нештатных и аварийных ситуаций представляется актуальной задачей.

Математическая модель должна учитывать:

- наличие достаточно большого числа взаимосвязанных между собой подсистем;
- многообразие физической природы подсистем;
- многокритериальность.

Специфика системного подхода позволяет согласовывать взаимосвязи между подсистемами, выявлять побочные входы и выходы, которые обуславливают неожиданные или нежелательные свойства системы, т.е. получить новую информацию об объекте, недоступную при несистемной постановке.

Наиболее близкими к ППК по конструкции и размерениям корпуса, наличием аналогичных подсистем, условиям работы в море и задачам позиционирования являются плавучие полупогружные буровые установки (ППБУ).

АНАЛИЗ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Выполненный анализ показывает, что намечилось структурирование исследований по научным направлениям теории корабля (стойчивость, качка, позиционирование), аэрогидромеханики, механики гибких стержней и нитей,

судовых приводов, алгоритмов управления движением.

Работы Е. Numata, Л. Б. Благовидова [11] посвящены исследованию устойчивости ППБУ, работы Р. В. Борисова [12] – главным образом решению проблем качки ППБУ определенных типов. Проблеме позиционирования ППБУ на точке работы посвящены работы И. К. Макарычева, Д. В. Марченко, I. Yamura, S. Iamada [13]. В этих работах содержатся методики определения смещения корпуса при маневрировании якорными связями в условиях тихой погоды, методики определения необходимых для этого длин травления – выборки связей.

Также проблеме позиционирования ППБУ на точке работы посвящены работы А. Б. Ваганова [14] и И. Д. Краснокутского [15]. В них содержатся методики определения смещения корпуса при маневрировании якорными связями и комплекса подруливающих устройств в сложных штормовых условиях, при аварийных сценариях эксплуатации ППБУ.

Выполнено значительное число работ, посвященных решению частных проблем: определению гидродинамических характеристик корпуса (работы Т. Suhara, Kagemoto., J. Nooft [16–18]); определению волновых нагрузок (работы Д. Д. Лаппо, И. Ш. Халфина [19] и многих других исследователей) на корпуса гидротехнических сооружений на шельфе.

Из научных исследований следует также выделить работы, используемые при проектировании ППК: в области проектирования судов Н. Ф. Воеводина [4], В. В. Ашика, Л. М. Ногида [20]; в области оптимизации основных характеристик судов – А. И. Новикова [21, 22]; в области теории корабля и гидромеханики – В. А. Некрасова [21], В. В. Семенова-Тян-Шанского [23] и многих других исследователей.

Понимание этих сложных проблем заставило проектантов заказать проведение крупномасштабных модельных и натурных испытаний (КМС, плавкрана, ППБУ). Но это долгий и дорогой путь при исследовании.

Таким образом, несмотря на значительное число работ, посвященных исследованию динамики плавучих сооружений отдельных типов, на наш взгляд проблема позиционирования ППК как сложной технической системы в настоящее время не решена.

ПРОБЛЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ППК

Принципиальным отличием позиционирования ППК является необходимость управления посадкой корпуса (осадка, крен и дифферент) при выпол-

нении грузовых и монтажных операций. При этом надо говорить о двух видах позиционирования ППК: горизонтальном, (когда корпус совершает движения только в горизонтальной плоскости) и вертикальном, (когда корпус совершает движения в вертикальном направлении и угловые движения по крену и дифференту). Оба вида позиционирования обеспечиваются разными средствами, но они взаимосвязаны.

Можно указать такие направления исследования движения ППК на точке работы в море:

1. Позиционирование горизонтальное – это маневрирование (изменение горизонтальной позиции) судна, находящегося в круге безопасности, для подготовки и выполнения определенной технологической операции.

2. Позиционирование вертикальное – это маневрирование – изменение осадки, углов крена и дифферента (изменение позиции) судна, находящегося в круге безопасности, для обеспечения приемлемых необходимых параметров посадки для работы кранового оборудования.

3. Удержание заданной позиции судна – это сохранение на поверхности моря определенного положения корпуса относительно точки работы при действии внешних нагрузок разного направления и разной интенсивности.

4. Позиционирование совместно с выполнением грузовой операции – это маневрирование (изменение позиции) судна, находящегося в круге безопасности, для выполнения определенной технологической операции с грузом на ноке стрелы.

Решение проектных и эксплуатационных задач, связанных с позиционированием, возможно лишь с помощью имитационного математического моделирования динамики ППК при работе с грузами.

ИМИТАЦИОННОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ППК

Математическая модель предназначена для решения следующих задач:

- определение параметров движения судна в зависимости от изменения внешних условий (ветра, течения, волнения и мелкобитого льда);
- выбор и проверка алгоритмов управления средствами позиционирования (СП) ППК на точке проведения работ.

Известен ряд математических моделей позиционирования судов, близких по назначению, конструкции корпуса и техническими подсистемам плавучих полупогружных морских средств освоения морских месторождений: ППБУ, трубоукладчиков [12, 14, 15].

Проектирование должно основываться на создании комплексной математической модели позиционирования ППК как сложной технической системы. При решении задач позиционирования ППК должно быть применено имитационное моделирование. Оно реализуется в вычислительных экспериментах на математической модели системы. Это позволяет на стадии проектирования принимать эффективные конструктивные решения, а при эксплуатации избежать ошибок в управлении.

Разрабатываемые методы должны позволять:

- проводить исследования:
 - технической возможности ППК осуществлять технологический процесс при регламентированных параметрах состояния погоды;
 - характеристик движения корпуса;
 - напряженного состояния якорных связей пассивных средств позиционирования;
 - режима работы средств активно-го позиционирования;
- проверять эффективность принятых законов управления средствами позиционирования;
- проверять приближенные методики проектирования отдельных подсистем ППК, применяемых на самых ранних стадиях проектирования.
- применять созданные компьютерные программы в качестве тренажера для операторов по позиционированию.

КОМПОНОВКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ НА ЭВМ

Для большинства подсистем уравнения движения состояния представлены в виде задач Коши для системы обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений. В этой связи возникает необходимость разработки такой структуры расчетной системы дифференциальных и связанных с ними уравнений в программе, которая позволяла бы для каждого уравнения обеспечить устойчивость решения и выбор оптимального шага численного интегрирования.

Следует отметить, что разработку и применению математической модели позиционирования ППК методами теории корабля должна предшествовать на ранних стадиях проектирования разработка методики выбора главных размерений корпуса ППК, исходя из критериев обеспечения необходимой площади грузовой палубы, умеренной качки и ходкости, на которые оказывают влияние длина и ширина корпуса и,

как следствие, число стабилизирующих колонн (относительная длина колонн) и горизонтальный клиренс. Известные источники не позволяют определить элементы судна в зависимости от его архитектуры.

Часто используются в теоретических расчетах динамики корабля экспериментально полученные гидродинамические характеристики корпуса как для качки, так и для управляемости.

Проведенный анализ показал, что отсутствует достаточный опыт проектирования и постройки полупогружных плавучих кранов и, кроме того, мало информации (опубликованных работ), необходимой для рационального проектирования судов такого типа.

Имеются пути решения проблемы, которые связаны с необходимостью разработки общей методики выбора основных характеристик и главных размерений ППК и с экспериментальным установлением некоторых мореходных качеств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка и применение математической модели позиционирования ППК с использованием имитационного моделирования необходимы для эффективного проектирования и управления, а также для предотвращения ошибок при эксплуатации. Она также должна позволять проводить исследования технических возможностей, характеристик движения корпуса, напряженного состояния якорных связей и режима работы средств позиционирования. Кроме того, компьютерные программы, основанные на данной модели, могут использоваться в качестве тренажеров для операторов по позиционированию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Галахов И. Н., Литонов О. Е., Алисейчик А. А.* Плавучие буровые платформы. – Л.: Судостроение, 1981. – 223 с.
2. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе: учебник / Г. В. Симаков, К. Н. Шхинек [и др.]. – СПб.: Судостроение, 1989. – 328 с.
3. *Виноградов С. С., Великосельский Н. Д., Михайлов Л. В.* Морской плавучий кран «Богатырь» // Судостроение. – 1973. – № 4. – С. 9–12.
4. *Воеводин Н. Ф.* Основы проектирования универсальных плавучих кранов. – М.: Изд-во Министерства речного флота СССР, 1950. – 362 с.
5. Характеристики и конструктивные схемы кранов, крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов: справ. по кранам. – В 2-х т. – Т. 2. – Л.: Машиностроение, 1988. – 559 с.
6. Моделирование динамики морских краново-монтажных судов при позиционировании / А. Б. Ваганов, И. Д. Крас-

нокутский, П. В. Гуров, М. Г. Балашов, Д. Ю. Несин // Транспортные системы. – 2020. – № 1 (15). – С. 29–40.

7. *Бородин Л. И., Рудак Г. И.* Плавкран грузоподъемностью 1400 т для судостроительных заводов // Судостроение. – 1986. – № 6. – С. 8–10.
8. *Скородумов И. Г.* Плавучие краны. Использование при строительстве и реконструкции мостов. – М.: Транспорт, 1987. – 63 с.
9. Propulsion system for dynamic positioning – Stages in the process from design to operation / Deter D. R. et al. – 3rd International Conference and Exhibition for Ocean Engineering and Marine Sciences, 1976, p. 579–596.
10. *Глуховский Б. Х.* Исследование морского ветрового волнения. – Л.: Гидрометеониздат, 1966. – 284 с.
11. *Благовидов Л. Б., Пикман Е. С.* Новые суда и плавсредства // Судостроение за рубежом. – 1985. – № 3. – С. 49–52.
12. *Борисов Р. В., Молдожников А. Б.* Расчет качки заякоренных буровых установок на регулярном и нерегулярном волнении. Технические средства освоения Мирового океана // Труды ЛКИ. – 1980. – № 2. – С. 22–27.
13. Geometrical Study on the Positioning of Spread Moored Vessels / Yamura I. et al. // 3rd International Kongress und Austel fur Meerestechnik, 1976, p. 403–416.
14. *Ваганов А. Б.* Разработка методов расчета позиционирования плавучих технических средств освоения шельфа в сложных эксплуатационных условиях // Морской вестник. – 2004. – № 1 (9). – С. 70–75.
15. *Ваганов А. Б., Краснокутский И. Д.* Численное моделирование характерных режимов эксплуатации водоизмещающего судна // Всеросс. науч.-практ. конфер. «Современные технологии в кораблестроительном и авиационном образовании, науке и производстве» 23–24 ноября 2016 г., Нижний Новгород. – Мат-лы конфер., 2016, с. 35–41.
16. *Hoofit J. P.* A mathematical method of determining hydrodynamically induced forces on a semisubmersible // TSNAME. – 1971. – Vol. 79. – P. 28–63.
17. *Jiang J., Lao G., Hu P.* Prediction of motion of semi-submersible drilling platform in waves // Acta oceanologica sinica. 1985. – Vol. 3. – P. 477–489.
18. Prediction of motion and strength of floating marine structures in waves / *Suhara T. et al.* // Rep. of Res. Just. of Appel Mech. – 1974. – Vol. 2269. – P. 15–45.
19. *Халфин А. Ш.* Воздействие волн на морские нефтегазопромысловые сооружения. – М.: Недра, 1990. – 310 с.
20. *Ногид Л. М.* Остойчивость судна и его поведение на взволнованном море. – Л.: Судостроение, 1967. – 342 с.
21. *Нечаев Ю. А.* Остойчивость судов на попутном волнении. – Л.: Судостроение, 1978. – 272 с.
22. *Новиков А. И.* Режимы работы и годовая производительность плавучих кранов. – Севастополь: Изд. СевНТУ, 2003. – 228 с.
23. *Семенов-Тянь-Шанский В. В., Благовещенский С. Н., Холодильник А. Н.* Качка корабля. – Л.: Судостроение, 1969. – 392 с. ■

В настоящее время в исследовательской практике и практике создания новой техники широко применяется компьютерное моделирование [1]. Морская техника не составляет исключение. В ней также широко используется компьютерное моделирование, например, моделирование обтекания с помощью разных программных кодов (Start CD, Flow vision и др.). Компьютерные модели в гидродинамике представляют собой программы и средства, которые используются для численного моделирования гидродинамических процессов. Они позволяют решать уравнения Навье–Стокса и другие уравнения, используя методы численного анализа и симуляции. Примеры программ и средств, используемых для создания компьютерных моделей в гидродинамике, включают ANSYS Fluent, OpenFOAM, COMSOL Multiphysics и другие. Эти программы позволяют исследовать различные гидродинамические явления.

Математические модели в гидродинамике представляют собой системы уравнений, которые описывают физические законы и принципы, лежащие в основе гидродинамических явлений. Они позволяют предсказывать поведение жидкостей и газов в различных условиях.

Важнейшими процессами являются процессы валидации и верификации моделей гидродинамики, которые позволяют проверить и подтвердить достоверность результатов моделирования. Валидация включает сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными или наблюдениями, чтобы убедиться в соответствии модели реальным явлениям.

Верификация, с другой стороны, включает проверку правильности реализации модели и численных методов, используемых для решения уравнений гидродинамики, в том числе проверку сходимости, устойчивости и точности численных методов, а также сравнение результатов с аналитическими решениями, если они доступны.

Оба процесса – валидации и верификации – помогают установить доверие к моделям гидродинамики и определить их пределы применимости.

В основе приведенных выше кодов и программ лежат различные гидродинамические модели, разработанные с использованием законов механики вязкой жидкости и реализованные на основе уравнений, составленных с применением конечных элементов, например, конечных разностей, конечных объемов и т.д. В этих условиях задача по существу сводится к решению этих уравнений, в общем случае нелинейных, с целью оп-

К ВОПРОСУ О ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБТЕКАНИЯ ТЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

Л.И. Вишнеvский, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник,
О.П. Орлов, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник,
В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф., науч. руководитель,
 ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
 контакт. тел. +7 (812) 386 6920, krylov@krylov.spb.r

ределения физических величин, например, скоростей, давлений и др. Вместе с тем следует отметить, что определение таких величин всегда осуществляется с некоторой погрешностью, зависящей, в частности, от величины этого элемента. Это связано с тем, что на точность этих величин оказывают влияние как случайные погрешности, возникающие в ходе вычислений, так и погрешности различных экспериментальных констант, участвующих в вычислениях. К ним могут быть отнесены экспериментально определенные коэффициенты вязкости, плотности среды, а также различные экспериментальные константы, связанные с выбором той или иной модели турбулентности в случае моделирования турбулентного течения. Кроме того, погрешности могут возникать и вследствие дискретности и ограничения памяти компьютера, и являющейся причиной различия между аналитическим (точным) и численным решением. Сюда же можно отнести неустранимые погрешности, обусловленные округлением числовых значений и невозможностью точного представления исходных данных, при вычислении элементарных и других функций, поскольку они вычисляются с помощью усеченных рядов. Заметный вклад в погрешности вносят ошибки округления при вычислении. Более или менее ясное представление о постоянных константах, связанных с моделированием турбулентности, приведено в [2].

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ

Источников погрешностей моделей при использовании программных продуктов существуют достаточно много. Вместе с тем согласно центральной предельной теореме Ляпунова распределение плотности вероятности всех этих погрешностей дается нормальным законом (распределением Гаусса), которое выражается в следующем виде:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где μ – математическое ожидание; σ – среднеквадратичное отклонение; x – случайная величина.

Перепишем $f(x)$ в виде

$$f(t) = Ce^{-at^2} \quad (C, a - \text{const} > 0), \quad (2)$$

где $x - \mu = t$; $a = 1/2\sigma^2$; $C = 1/\sigma\sqrt{2\pi}$.

Преобразование Фурье (2) есть функция

$$F(\omega) = \frac{C}{2\sqrt{\pi a}} e^{-\frac{\omega^2}{4a}}, \quad (3)$$

где ω – циклическая частота.

Известно следствие, вытекающее из формул (2) и (3). Легко видеть, что (2) и (3) имеют вид «купола» при графическом их исполнении (рис. 1). Эти формулы обладают следующим свойством. Если определять высоту «купола», задаваемой формулой (2) из условия понижения ее в e раз, то ширина «купола» по формуле (3) увеличивается. Анализ показывает, что изменение параметра t в формуле (2) на величину $\Delta t = 1/\sqrt{a}$ соответствует изменению параметра ω в формуле (3) (у преобразованного «купола») на величину $\Delta\omega = 2\sqrt{a}$.

Таким образом, если менять a (среднеквадратичное отклонение), то один из «куполов» становится уже, а другой – во столько же раз шире, так что

$$\Delta t \Delta\omega = 2 = \text{const}. \quad (4)$$

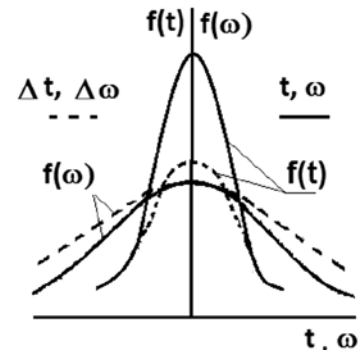


Рис. 1. Иллюстрация изменения функций по формулам (2) и (3)

ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Используя изложенную информацию, проведем следующие рассуждения. Пусть по одному из программных кодов проводится моделирование обтекания

тела с учетом всех указанных выше погрешностей. Расчетная область разбивается на ячейки с характерным линейным размером $x \sim \sqrt{\Delta s}$, где Δs – характерная площадь ячейки. В некоторой фиксированной точке течения в указанной области введем визуализацию. Разбивка расчетной области на ячейки повторяется каждый раз при проведении расчета. Примем $t = x/V$, где V – некоторое постоянное значение скорости.

После проведения необходимого количества расчетов можно построить функцию (2) методами статистики, а также функцию (3). В этом случае будет справедливо выражение (4). Примем, что величина Δt будет характеризовать изменение размера ячейки, а величину параметра ω связать с погрешностью в определении скорости течения жидкости в наблюдаемой точке (ячейке, образованной при разбиении расчетной области) с выражением $\omega = \frac{V}{L^*}$, где погрешность V – спектр скоростей в определении скорости в точке наблюдения, а L^* – некоторое постоянное значение, относящееся к размеру ячейки. Тогда с учетом сказанного (4) можно переписать в виде

$$\Delta V \Delta x = 2V^* L^* = \text{const.} \quad (5)$$

Равенство (5) аналогично известному в физике принципу неопределенности. Здесь только вместо постоянной Планка, содержащейся в правой части (5), используется некая постоянная, отражающая внешние размеры и скорость натекания на расчетную область. Условно ее можно назвать как виртуальная постоянная моделирования погрешности (ВПМП) в расчетной ячейке. В левой же части вместо произведения погрешностей импульса и места пребывания микрочастицы содержится произведение погрешности скорости ΔV , возникающей в расчетной рассматриваемой ячейке при разбивке расчетной области и размера величины этой ячейки Δx . Приведенную запись (5) можно интерпретировать следующим образом. Нельзя в

рассматриваемой точке компьютерной визуализации течения найти точное значение скорости течения из-за наличия в ней множества причин, приводящих к погрешности скорости ΔV . Другими словами, стремясь увеличить количество расчетных ячеек в расчетной области путем уменьшения их размеров Δx и увеличения их числа, мы неизбежно увеличиваем погрешность в определении скорости ΔV , и наоборот.

Из сказанного следует весьма важный вывод, состоящий в том, что не всегда следует стремиться при компьютерном моделировании области течения среды к большему числу разбиения расчетной области с целью уточнения искомым величин (в данном случае скорости), поскольку измельчение расчетной области (повышение, так называемого, ее разрешения) может приводить только к ухудшению точности, сходимости процесса счета. Другими словами, использование высокопроизводительной вычислительной техники может оказаться неоправданным и вполне может быть достаточным использование обычного настольного компьютера. Тем более, что создание новой техники сопряжено прежде всего с разработкой ее конструкции (выполнения ОКР) с тем, чтобы провести опытную ее натурную проверку. Ярким примером сказанного может служить создание новых движителей – винтов изменяемого шага (ВИШ) применительно к различным объектам морской техники (рис. 2) и успешная их натурная проверка. Их разработка была осуществлена без применения высокопроизводительной вычислительной техники. Использовалась лишь обычная вычислительная техника и индивидуально разработанные алгоритмы для их проектирования.

Другим важным выводом может относиться случай, когда разбивка расчетной области осуществляется в зонах с различными разрешениями с целью уточнения характеристик течения в этих

зонах. В этом случае, проводя рассуждения, аналогичные приведенным выше, применительно к расчету, например, давлений и рассматривая получаемый результат с точки зрения определения силы сопротивления движению движущегося в среде тела путем суммирования элементарных давлений, спроектированных на направления движения, совершаемого при этом погрешность компьютерного расчета можно рассматривать как результат реализации случайного события. Тогда суммарная абсолютная погрешность при определении силы сопротивления R в предположении взаимной независимости этих зон должна определяться согласно метрологической науке по формуле

$$\Delta R = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial A} \Delta A\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial B} \Delta B\right)^2 + \dots}, \quad (6)$$

где $\Delta A, \Delta B, \dots$ – абсолютные погрешности вычисленных величин в зонах с различными разрешениями расчетной области величин A, B, \dots соответственно. Все сказанное справедливо как для вязкой (невязкой) жидкости, так и для других расчетов, проводимых применительно к механике сплошной среды.

РАСЧЕТНЫЙ ПРИМЕР

Для иллюстрации сказанного рассмотрим в качестве примера бесциркуляционное обтекание идеальной средой цилиндра с радиусом $r_0 = 1$ с использованием выше изложенного материала. Классические результаты о нем хорошо известны из курсов гидромеханики. Как известно, интегральное уравнение для определения особенностей q моделирующих обтекание любого гладкого тела идеальной средой описывается уравнением

$$\frac{q(M)}{2} + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{q(P) \cdot \cos(\vec{n}, \vec{d})}{d} dl = v_n. \quad (7)$$

Здесь \vec{n} – нормаль к поверхности цилиндра; d – расстояние от точки M до точки P (рис. 3); v_n – нормальная скорость к контуру цилиндра.

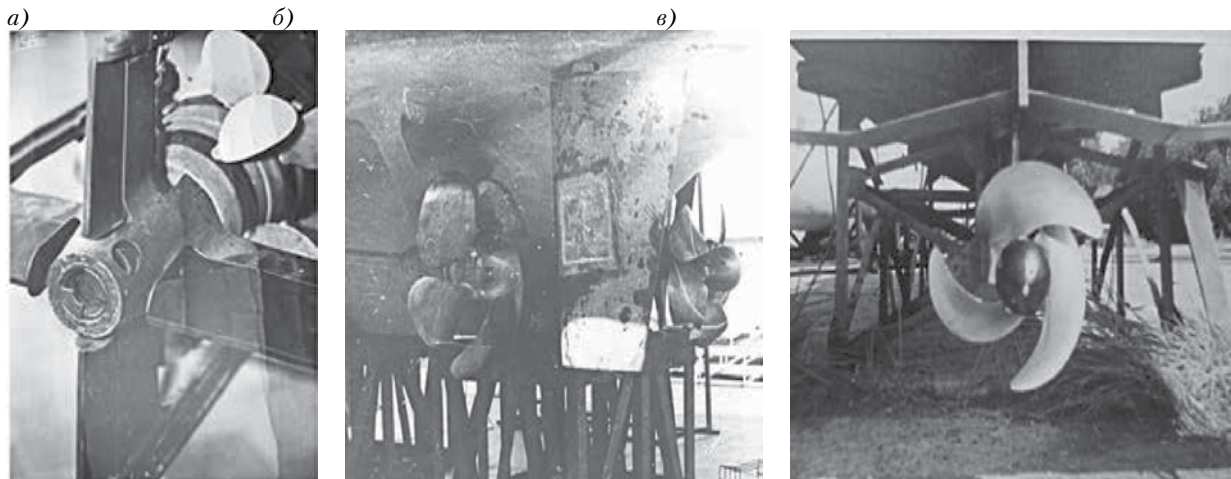


Рис. 2. Морские объекты, оснащенные ВИШ: а – автономный обитаемый подводный аппарат; б – тральщик; в – катер на подводных крыльях

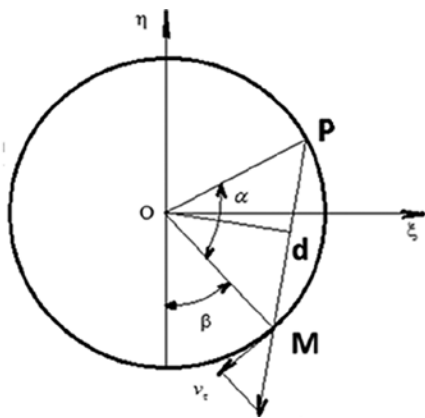


Рис. 3. К построению формулы (12)

Пусть ε есть дисперсия, возникающая вследствие случайной погрешности в скорости при задании контура цилиндра единичного радиуса. Другими словами, рассматривается влияние неточности задания граничного условия на окончательное решение данной задачи. Тогда уравнение (7) можно переписать в виде

$$\frac{q(M)}{2} + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} q(P) \left[\frac{1}{|d|} + \Delta_d \right] \cdot \cos(\vec{n}, \vec{d}) dl = v_n. \quad (8)$$

Здесь Δ_d – малая величина, обусловленная малыми отклонениями от контура цилиндра при определении d .

Предполагая, что контур цилиндра остается гладкой поверхностью из-за наличия малых неточностей при задании контура цилиндра, можно считать, что изменение угла между нормалью n и расстоянием d невелико и допустимо предполагать, что $\cos(\vec{n}, \vec{d})$ с точностью до малых более высокого порядка не изменяется. Действительно,

$\cos(\vec{n}, \vec{d}) + \Delta\alpha \approx \cos(\vec{n}, \vec{d}) + \Delta\alpha \cdot \sin(\vec{n}, \vec{d})$, где $\Delta\alpha$ – малый по величине угол, возникающий вследствие допускаемой неточности задания контура цилиндра.

Тогда (8) можно переписать в виде с точностью до малых более высокого порядка, чем первый:

$$\frac{q(M)}{2} + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{q(P) \cdot \cos(\vec{n}, \vec{d})}{d} dl + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \Delta_d \cdot \cos(\vec{n}, \vec{d}) dl = v_n. \quad (9)$$

В этом выражении первый интеграл в левой части уравнения равен нулю в силу замкнутости контура цилиндра, и это выражение может быть переписано в виде

$$q(M) = 2v_n - \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \Delta_d \cdot \cos(\vec{n}, \vec{d}) dl = 2V_\infty \cos(\beta + \alpha) + \Delta_{dq}, \quad (10)$$

где V_∞ – скорость набегающего потока; β – угол, определяющий расчетную точку на контуре цилиндра;

$$\Delta_{dq} = -\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \Delta_d \cdot \cos(\vec{n}, \vec{d}) dl. \quad (11)$$

Слагаемое Δ_{dq} в (11) образует надбавку к величине особенностей q за счет

погрешностей в граничном условии и соответствует дисперсии ε с математическим ожиданием равным единичному радиусу контура цилиндра.

Касательную скорость на контуре можно определить по формуле (ее построение следует из рис. 3)

$$v_\tau = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} q \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} d\alpha. \quad (12)$$

Используя (12), выражение для касательной скорости с учетом касательной составляющей скорости набегающего потока v_τ будет иметь вид

$$v_\tau = 2V_\infty \sin \alpha + \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \varepsilon \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} d\alpha. \quad (13)$$

Как видно из последнего выражения, касательная скорость в отличие от классического результата $v_\tau = 2V_\infty \sin \alpha$ является еще и функцией распределения дисперсии по контуру цилиндра, выражаемой интегралом в (13). С целью иллюстрации влияния дисперсии на выражение для касательной скорости в таблице приведены выражения для некоторых заданных значений распределения дисперсий по цилиндру ε .

В приведенном примере среднеквадратичное отклонение задавалось в граничном условии на контуре цилиндра, а в качестве математического ожидания принимался радиус единичного цилиндра.

Из приведенных выражений в таблице следует, что касательная скорость существенно зависит от точности (аккуратности) задания границы (контура) цилиндра. При определенной небрежности (погрешности) значение этой скорости может быть любой, поскольку погрешность a_ε за счет принципа неопределенности (5) может существенно возрасти при уменьшении области рассматриваемого течения на контуре цилиндра.

Переходя к определению силы в идеальной среде при движении цилиндра с постоянной скоростью, можно прийти к заключению, что она при имеющейся погрешности при задании контура единичного цилиндра не равна нулю. Как показывает анализ, она определяется формулой при сохранении гладкости контура цилиндра, малом отклонении нормали от радиуса и при равенстве среднего значения этого отклонения равным нулю (см. таблицу):

$$|\vec{R}| = (R_x^2 + R_y^2)^{1/2} = 4\pi\rho V_\infty a_\varepsilon. \quad (14)$$

(Данное значение получено для случая $\varepsilon = a_\varepsilon \cos \alpha$.)

Из последнего выражения следует, что парадокс равенства нулю силы не выполняется. Это означает, что при численном моделировании при задании граничных условий на поверхности тела с погрешностью верификация гидродинамической модели путем приравнивания коэффициента вязкости и турбулентной вязкости нулю может быть неоправданной из-за погрешностей, указанных во введении к данной работе. В рассматриваемом примере это реализуется из-за погрешностей в задании контура цилиндра. В реальных случаях источников погрешностей существенно больше, и они частично перечислены в начале данной статьи.

Значение достоверности оценки сопротивления цилиндра по формуле (14) можно определить, используя распределение Стьюдента, коэффициенты которого показывают, во сколько раз доверительный интервал нахождения абсолютной величины погрешности шире оценки среднего квадратичного отклонения ε [6]. Принимая, что значение коэффициента a_ε получено при $n = 8$ реализаций, для которого коэффициент Стьюдента доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ равен $t_c = 2,36$, легко оценить границы погрешности формулы (14):

$$\pm \Delta \approx 2,36 \cdot a_\varepsilon.$$

Таким образом, $|\vec{R}| = 4\pi\rho V_\infty a_\varepsilon (1 \pm 2,36)$. Коэффициент сопротивления цилиндра можно определить по формуле

$$C_x = \frac{2a_\varepsilon}{V_\infty} (1 \pm 2,36).$$

Данное значение сопротивления цилиндра единичного радиуса, движущегося с постоянной скоростью в безграничной жидкости, включает и нулевое значение этого сопротивления как возможную ее реализацию с доверительной вероятностью 0,95.

К сказанному следует добавить, что получение дисперсии (среднеквадратичного отклонения ε) и математического ожидания исследуемой физической величины может оказаться непростым делом. Это обусловлено тем, что оно требует неоднократного проведения

Таблица

Вид выражений для касательной скорости и сопротивление бесциркуляционному движению цилиндра, движущегося с постоянной скоростью в идеальной безграничной среде, в зависимости от дисперсии ε , вызванной неточностью задания граничного условия на цилиндре

Вид квадратичного отклонения (дисперсия) ε	Выражение для касательной скорости	Сопротивление кругового цилиндра
$\varepsilon = a_\varepsilon \cos \alpha$	$v_\tau = 2V_\infty \sin \alpha - 2a_\varepsilon / \pi$	$R \neq 0$
$\varepsilon = a_\varepsilon \sin \alpha$	$v_\tau = 2V_\infty \sin \alpha + 2a_\varepsilon$	$R \neq 0$
$\varepsilon = 0$	$v_\tau = 2V_\infty \sin \alpha$	$R = 0$ классический результат

расчетов по тому или иному алгоритму при разной разбивке расчетной области, так что большого преимущества в получении результата перед экспериментальным путем может и не оказаться ни в плане трудоемкости, ни в плане экономическом. И с этой точки зрения использование такой цифровой экспериментальной установки будет неоправданным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изложенных в статье данных можно сделать следующие выводы:

1. При сопоставлении расчетных данных и данных, полученных иным путем (например, путем эксперимента), всегда следует обращать внимание на их достоверность, обусловленную влиянием многочисленных случайных факторов, влияющих на окончательный результат. Особое внимание следует уделять в том случае, когда в алгоритмы расчетов по названным выше кодам включены те или иные постоянные, найденные из экспериментальных данных или из практического опыта проведения подобных расчетов.

Такие расчеты принято называть полуэмпирическими. Ярким примером такого сопоставления может служить рис. 4, заимствованный из работы [5]. На нем сопоставлены расчетные данные о КПД гребного винта, полученного с использованием полуэмпирических моделей турбулентности без указания их достоверности, с экспериментальными результатами. В результате однозначного вывода, касающегося надежности использования той или иной модели турбулентности, сделать нельзя, поскольку погрешности экспериментальных данных по КПД гребных винтов хорошо известны при получении их как в кавитационных трубах, так и на других установках, а о погрешностях расчетных данных ничего не говорится в [5]. Также ничего нельзя сказать и в отношении влияния турбулентности на полученные расчетом результаты, поскольку каждой расчетной кривой (рис. 4) должно соответствовать определенное значение достоверности, которое, в свою очередь, зависит от экспериментальных значений постоянных выбранных моделей турбулентности.

2. Следует признать некорректным верификацию компьютерного алгоритма, связанного с обтеканием тел вязкой

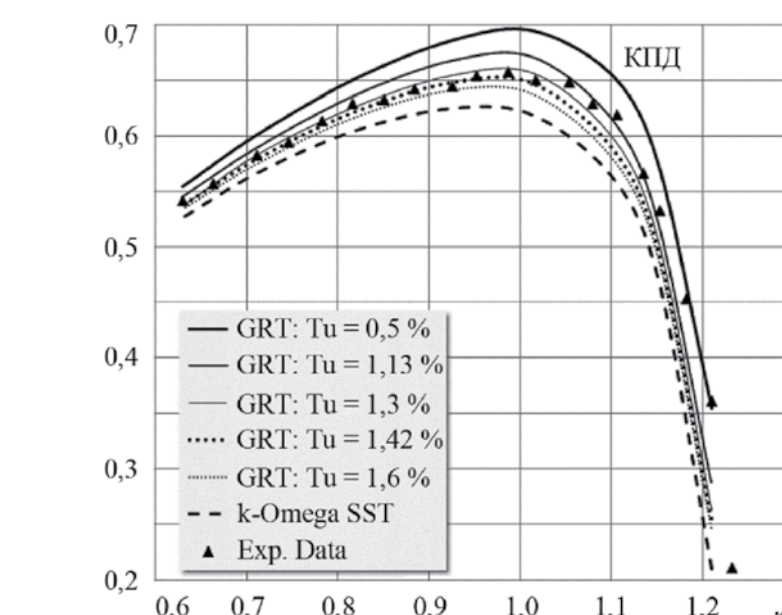


Рис. 4. Зависимость КПД гребного винта от уровня внешней турбулентности по данным работы [5]

средой, путем приравнивания коэффициента вязкости нулю из-за наличия множества случайных факторов, которые могут не приводить к нулевому сопротивлению в случае движения тела с постоянной скоростью в безграничной жидкости.

3. При моделировании обтекания тел вязкой жидкостью не следует чрезмерно увлекаться разрешением расчетной области путем ее измельчения, поскольку, с одной стороны, экспериментальные постоянные моделей турбулентности, используемые для замыкания основных уравнений движения среды, могут не коррелироваться со случайными погрешностями другой природы, с другой – измельчения расчетной области течения среды может оказаться напрасным делом из-за изложенного выше принципа неопределенности, т.е., измельчая расчетную подобласть, мы можем увеличить погрешность и неточность окончательного результата.

4. Для получения корректных расчетных данных по имеющимся алгоритмам с целью получения квадратичного отклонения (дисперсии) получаемого результата и его среднего значения (математического ожидания) необходимо проводить неоднократные расчетные процедуры с разной разбивкой расчетной области и с анализом полученных расчетных данных. А затем использовать распределение Стьюдента с тем, чтобы определить значение достоверности

окончательного расчетного результата в наблюдаемой области течения.

5. Проводя исследования и расчеты при создании новой морской техники, целесообразно использовать как разработанные программные продукты с учетом опыта их применения, так и экспериментальные данные. При этом не всегда целесообразно использовать суперкомпьютерное моделирование морских объектов из-за неизвестных значений эмпирических констант, включаемых в алгоритмы программ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудской А.И., Волков К.Н., Соколов Ю.А., Кондратьев С.Ю. Цифровые производственные системы: технологии, моделирование, оптимизация. – СПб.: Политехпресс, 2020. – 827 с.
2. Юн А.А. Теория и практика моделирования турбулентных течений. – М.: КД «Либроком», 2009. – 272 с.
3. Вишневецкий Л.И., Тогуняц А.Р. Гидродинамика корабельных лопастных движителей, инновационные решения. – СПб.: Реноме, 2020. – 241 с.
4. Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. Элементы прикладной математики. – М.: Наука, 1972. – 592 с.
5. Таранов А.Е., Лобачев М.П. Определение гидродинамических характеристик моделей гребных винтов с учетом ламинарно-турбулентного перехода
6. Метрология, стандартизация и сертификация. – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2007. – 94 с. ■

Современный боевой корабль представляет собой сложное инженерное сооружение, состоящее из корпуса и надстроек, имеет оружие и вооружение, энергетическую установку, системы жизнеобеспечения и безопасности экипажа. Для обеспечения жизнедеятельности экипажа, а также надежного функционирования оружия, радиоэлектронных средств и множества других технических систем корабля и поддержания их в исправном состоянии круглосуточно в течение всего срока эксплуатации, с учетом сезонного изменения метеоусловий следует поддерживать строго определенный микроклимат (т.е. температуру и влажность воздуха).

Учитывая, что корпус и надстройки корабля, как правило, металлические и обладают высокой теплопроводностью, для обеспечения требуемого микроклимата внутри корпуса основная роль отводится тепловой изоляции, оказывающей существенное влияние на эксплуатационные характеристики корабля, такие как безопасность (имеется в виду безопасность здоровья экипажа, а также пожарная безопасность), эргономичность, экономичность (имеется в виду экономия энергоресурсов) и другие показатели.

Статья посвящена актуальной проблеме – оценке влияния тепловой изоляции на стоимость эксплуатации корабля, т.е. эксплуатационную экономичность.

Под экономичностью корабля в данной работе понимается свойство, характеризующее его способность выполнять свое целевое назначение при рациональном потреблении (расходе) ресурсов (технических, горюче-смазочных материалов, финансовых и др.), не превышающих установленных руководящими документами норм. Одной из самых затратных составляющих корабля в течение года или большого временного цикла является расход топлива. Следует отметить, что в современных экономических условиях наблюдается устойчивая тенденция к постоянному росту цен на все виды органического топлива. Поэтому в качестве одного из основных критериев при проектировании тепловой изоляции необходимо минимизировать расходы на потребление энергии [1, 5].

Тепловая изоляция имеет большое значение в кораблестроении. С одной стороны, она вносит относительно весомый вклад в нагрузку масс кораблей при постройке, с другой – оказывает существенное влияние на экономические показатели стоимости создания и эксплуатации кораблей на протяжении всего срока службы. Теплоизоляционные материалы (ТИМ) наносятся на корпусные конструкции, переборки помещений энергетических отсеков, холодильных машин и провизионных

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ КОРАБЛЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА КОРАБЛЯ

П.А. Зубков, канд. техн. наук,
ген. директор АО «Морские комплексные системы»,
М.Г. Войтович, канд. техн. наук, науч. сотрудник,
контакт. тел. (812) 368 3951, +7 (981) 715 6854, mail@mkis.su

камер, оборудование и трубопроводы энергетической установки и других систем корабля. На рис. 1 представлен ТИМ Rockwool в процессе монтажа.

В зависимости от вида и назначения корабля или судна затраты на приобретение и монтаж тепловой изоляции могут быть весьма значительны и составлять до 10–15% общей стоимости постройки судна.

Вопрос повышения эксплуатационной экономичности в статье рассматривается с точки зрения максимизации возврата затрат на осуществленные инвестиции и минимизации стоимости эксплуатационных расходов за срок службы сооружения.

В настоящем исследовании рассматривается только тепловая изоляция корпуса надводных кораблей. Установка ТИМ – один из важнейших способов энергосбережения, под которым понимается сокращение затрат на топливо и иные энергоносители, расходуемые для поддержания в заданных пределах параметров микроклимата в жилых и служебных помещениях.

Первоначальные затраты на тепловую изоляцию, включающие стоимость контрагентских поставок, т.е. ее приобретение, а также монтаж внутри корпуса корабля, входят в стоимость его постройки. Однако тип материала тепловой изоляции и ее плотность, а также наиболее важный ее показатель, такой как толщина, должны определяться из предполагаемых условий базирования и районов эксплуатации корабля по прямому назначению.

В качестве критерия технико-экономической эффективности теплоизоляционной конструкции корпуса корабля выбраны удельные затраты электроэнергии на компенсацию теплового потока через теплоизоляционную конструкцию, приведенные к единице толщины теплоизоляционного материала.

Показателями топливной экономичности, характеризующими интенсивность расхода топлива, являются удельный расход топлива b_e , часовой расход топлива $V_{\text{ч}}$ и расход топлива на милю b_m . Не вдаваясь в подробности способов оценки указанных показателей, следует отметить, что они зависят от следующих внешних факторов:

- характеристики обводов корпуса корабля, что предопределяет величину волнового сопротивления;
- состав и характеристики элементов энергетической установки и режимов их использования.

В свою очередь режимы использования энергетической установки зависят:

- от условий и интенсивности использования кораблей;
- состава и характеристик изоляционных материалов корпуса корабля, что предопределяет расходование энергосред



Рис. 1. Теплоизоляционный материал в процессе монтажа

на обеспечение комфортных условий обитаемости личного состава (тепловой энергии в холодное время года на обогрев помещений и холода в жаркое время года).

Корабли и суда используются по прямому назначению практически во всех районах Мирового океана и на всех предусмотренных режимах движения, что приводит к отклонениям от расчетных величин параметров окружающей среды. При этом могут изменяться и характеристики теплоизоляционных материалов, в том числе и в зависимости от возраста корабля, т.е. времени эксплуатации. Выражение для коэффициента теплопроводности ТИМ при эксплуатации в составе конструкции представляется экспоненциальной зависимостью [2]

$$\lambda_{\tau} = \lambda_0 \exp(K\tau), \quad (1)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала в начале эксплуатации, Вт/м·°С; λ_{τ} – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала через τ лет эксплуатации, Вт/м·°С; K – константа работоспособности, 1/год.

Основным режимом использования кораблей и судов является плавание в различных районах Мирового океана, на различных скоростях хода и в различных климатических условиях. Расчетные значения степени изменения плотности потока тепла через теплоизоляционную конструкцию подводной части корпуса корабля в зависимости от температуры забортной воды t_{cp} для двух выбранных для исследования типов ТИМ, представлено на рис. 1.

Расчеты проводились при двух дискретных значениях температуры внутри помещений корабля t_{in} , соответственно: 20 °С и 30 °С. На рис. 2 величина плотности теплового потока q_t имеет положительные и отрицательные значения. Положительным направлением считается поток тепла из внутренних помещений корабля за борт и, наоборот, при высоких температурах забортной воды поток тепла направлен снаружи вовнутрь корпуса и считается отрицательным. Изменения теплопроводности ТИМ, связанные со старением материала, в данных расчетах не учитывались.

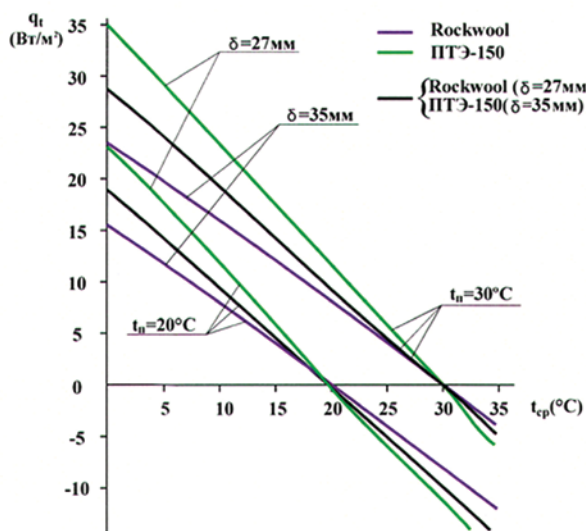


Рис. 2. Расчетные значения плотности потока тепла через теплоизоляционную конструкцию подводной части корпуса корабля в зависимости от температуры забортной воды

Анализ информации, представленной на рис. 2, свидетельствует о том, что при одинаковой толщине ТИМ корпуса корабля основным способом снижения потока тепла является использование теплоизоляционного материала с лучшими свойствами, т.е. с меньшим коэффициентом теплопроводности. Плотность теплового потока q_t материала Rockwool на 25% меньше, чем материала ПТЭ-150 при одинаковой температуре забортной воды и одинаковой толщине теплоизоляционных

материалов. Увеличение толщины обоих материалов с 27 мм до 35 мм может приводить к уменьшению удельного потока тепла примерно на такую же величину – от 21 до 25%.

На рис. 2 отчетливо видно, что зависимости изменения теплопроводности материала Rockwool толщиной 27 мм и ТИМ ПТЭ-150 толщиной 35 мм практически совпадают. Это означает, что использование материала Rockwool с меньшей толщиной будет иметь одинаковую эффективность по сравнению с традиционно используемым материалом ПТЭ-150 с большей толщиной. Поэтому замена одного материала на другой при одинаковой их плотности может способствовать существенному выигрышу в нагрузке масс корабля. Например, при поверхности изоляционной конструкции в 1000 м² разница в массе составит 1200 кг.

При снижении температуры внутренних помещений t_{in} во всех вариантах изоляции плотность потока тепла за борт уменьшается и, наоборот, при увеличении температуры внутри корпуса корабля t_{in} плотность потока тепла с наружи вовнутрь корпуса корабля уменьшается.

Из анализа информации также следует, что в диапазоне температур забортной воды 20 – 30 °С и температуре воздуха в помещениях в том же диапазоне поток тепла через теплоизоляционную конструкцию относительно невелик, что является следствием невысокого теплоперепада внутри и снаружи корпуса корабля. Однако с изменением температуры забортной воды t_{cp} в широких пределах плотность потока тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля может возрасти в несколько раз.

В настоящее время при проектировании кораблей практически не проводится никаких исследований по выбору тепловой изоляции с учетом изменения ее характеристик. Это касается таких широко известных явлений, как изменение теплопроводности материалов вследствие изменения средней рабочей температуры изоляции и возможного постепенного ее увлажнения в процессе эксплуатации кораблей [3, 4].

Пренебрежение указанными факторами может привести не только к повышенному расходу топлива, но и, например, на определенном этапе к несоответствию спецификационной производительности установленных на корабле системы обогрева и холодильных машин тепловой нагрузке на них. Как следствие, могут измениться параметры микроклимата в помещениях кораблей, а также тепловые режимы работы оборудования. Все это может создать на корабле нестандартные или даже аварийные ситуации.

Для иллюстрации эффективности применения современных ТИМ Rockwool в сравнении с традиционными ПТЭ-150 на рис. 3 в виде диаграмм представлены расчетные значения годовых затрат электроэнергии на компенсацию потоков тепла через эти изоляционные материалы для кораблей класса корвет, базирующихся в Баренцевом море. Расчеты выполнены по разработанной аналитической модели, представленной в [6].

На основе анализа информации, представленной на рис. 3, можно сделать вывод о том, что использование изоляционного материала на основе базальтового волокна Rockwool по сравнению с традиционно используемым материалом ПТЭ-150 позволяет снизить годовые затраты электроэнергии на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса кораблей класса корвет примерно на 25%.

Учитывая, что генерация электроэнергии на корабле, как правило, происходит за счет работы корабельных технических средств (за исключением случаев стоянки кораблей у причальной стенки и подачи электроэнергии с берега), эффективность использования теплоизоляционного материала Rockwool целесообразнее оценить на примере годовой экономии топлива, необходимого для работы корабельных технических средств. Для оценки приняты значения удельного расхода дизельного топлива $b_e \approx 0,225$ кг/(кВт·ч) при низшей теплотворной способности топлива $Q_{in}^p = 42700$ кДж/кг.

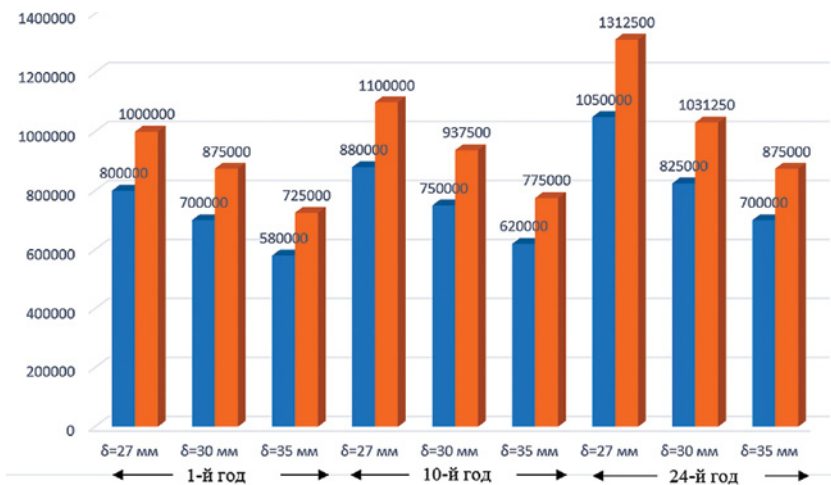


Рис. 3. Соотношение затрат электроэнергии на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля с изменением толщины изоляции при базировании в Баренцевом море для различных ТИМ

Посчитав годовые затраты электроэнергии на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля, можно рассчитать годовые затраты топлива в тоннах с использованием зависимости

$$B_{\text{год}}^{\text{топл}} = \frac{N_{\text{эл}} \cdot b_e}{1000} \quad (2)$$

Годовую экономию финансовых средств в рублях на компенсацию потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля можно рассчитать по формуле

$$\Delta S = \Delta B_{\text{год}}^{\text{топл}} \cdot S, \quad (3)$$

где S – оптовая цена дизельного топлива (для расчетов принимается оптовая цена на июль 2021 г. $S \approx 35\,000$ руб./т).

Ниже, на рис. 4, представлены расчетные значения годовой экономии финансовых затрат на топливо для компенсации потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля класса корвет за счет использования изоляционного материала Rockwool по сравнению с традиционно используемым ПТЭ-150, базирующегося в Баренцевом море.

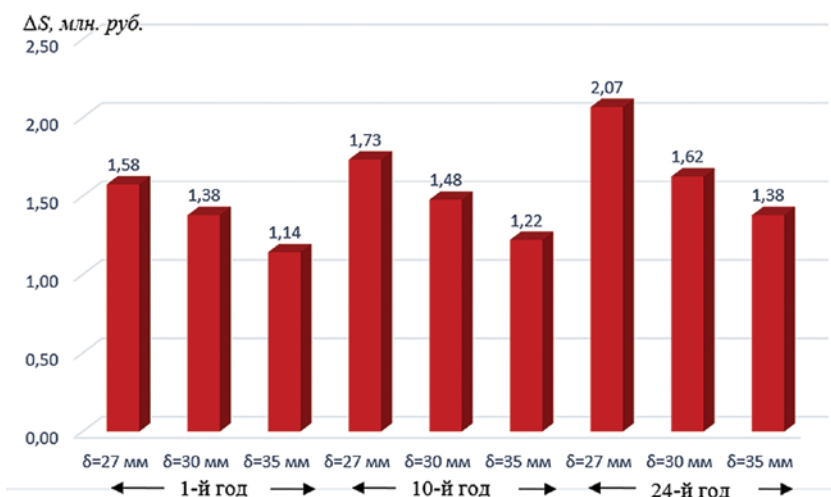


Рис. 4. Годовая экономия затрат на топливо для компенсации потоков тепла через теплоизоляционную конструкцию корпуса корабля класса корвет при базировании в Баренцевом море

ВЫВОДЫ

Использование теплоизоляционных конструкций для корпусов кораблей является обязательным элементом обеспечения параметров микроклимата во внутренних помещениях. В то же время тепловая изоляция – важнейший фактор, на основе которого рассчитываются экономические затраты как на строительство, так и на эксплуатацию кораблей. При выборе материалов и технологий для изготовления теплоизоляционных конструкций важно оценивать не только изна-

тельную стоимость изготовления и монтажа, но и возможное ухудшение характеристик ТИМ с течением времени срока службы кораблей и в зависимости от условий эксплуатации. Пренебрежение указанными факторами может привести к нерасчетным условиям работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха и неоправданным затратам энергии. В свою очередь, использование современных теплоизоляционных материалов Rockwool на основе базальтового волокна, которые обладают приемлемой долговечностью и стабильностью теплотехнических и физических характеристик при воздействии высоких температур и в период предполагаемого срока эксплуатации кораблей, позволяет повысить эксплуатационную экономичность корабля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководящий документ РД5.3051–83. Изоляция тепловая судовых помещений. Нормы и правила проектирования.
2. Методика оценки влияния влажности на эффективность теплоизоляции оборудования и трубопроводов. – М.: НИЦ ОАО «Теплопроект», 2004.

3. Бобров Ю.Л. Исследование и прогнозирование эксплуатационных свойств минераловатной тепловой изоляции. – М.: ЦМИПКС, 1990.
4. Бобров Ю.Л. Долговечность теплоизоляционных минераловатных материалов. – М.: Энергия, 1987.
5. Зубков П.А. Физико-математическая модель для исследований влияния тепловой изоляции на характеристики кораблей//Морские интеллектуальные технологии. – 2011. – №1 (11).
6. Зубков П.А. Аналитическая модель оценки эффективности тепловой изоляции корпуса корабля при использовании современных теплоизоляционных материалов//Морской вестник. – 2024. – №1(89). – С. 10–14. ■

Александр Васильевич Шляхтенко родился 26 апреля 1949 г. в Омске. После окончания в 1972 г. Ленинградского кораблестроительного института поступил на работу в ЦМКБ «Алмаз», где прошел путь от рядового инженера-конструктора до генерального директора предприятия.

Работа молодого специалиста началась в «Алмазе», в бюро, которое смело осваивало передовые области мирового судостроения. В это время уже массово строились и эксплуатировались суда на подводных крыльях, проводились интенсивные исследования в области амфибийных судов на воздушной подушке. Уникальные проекты кораблей и судов с динамическими принципами поддержания поражали воображение, и к проектированию уникального 1000-тонного «катамарана с аэростатической разгрузкой», который сегодня известен как ракетный корабль на воздушной подушке скегового типа «Сивуч», был подключен молодой инженер Александр Шляхтенко. Оригинальные решения, предложенные им, нашли применение в этом проекте, а позднее (в составе группы конструкторов бюро) были зарегистрированы в качестве изобретений.

Далее были работы в коллективах над другими проектами катеров на воздушной подушке – катерами «Скат», «Мурена» и т. п. К проекту «Мурена» А. В. Шляхтенко возвращался дважды. Сначала он как инженер участвовал в разработке проекта десантного катера на воздушной подушке «Мурена» для советского ВМФ, позднее, уже будучи на управленческом посту, руководил созданием экспортного варианта катера «Мурена-Э» для ВМС Южной Кореи.

В должности заместителя главного конструктора А. В. Шляхтенко участвовал в создании катеров различного назначения, в том числе проектов 1392, 1392В, 1388Р. Закономерным итогом деятельности в этом направлении стала работа над проектами 13925, Р-179, Р-278 и их модификациями.

Во второй половине 1980-х гг. деятельность А. В. Шляхтенко была посвящена разработке лицензионной документации на строительство ракетных катеров проекта «Молния-Э» в Индии. К этому времени он занимал должность заместителя главного конструктора, и значительные тяготы, связанные с этой организационной работой, легли на его плечи. После этого в течение трех лет, с 1987 по 1990 г., А. В. Шляхтенко возглавлял группу отечественных специалистов, которые отвечали за техническое содействие при строительстве и испытаниях головного катера «Vibhuti» на верфи Mazagon Dock Ltd. в Бомбее.

Вскоре после возвращения из Индии А. В. Шляхтенко назначают главным инженером предприятия, а в 1992 г. начальником – главным конструктором



ЦМКБ «Алмаз», которым руководил более 30 лет (до 2023 г.).

А. В. Шляхтенко имеет выдающиеся заслуги перед государством, связанные с обеспечением его обороноспособности и достижениями в труде. Под его руководством и при непосредственном участии разработаны и созданы уникальные корабли и катера, имеющие важное значение для повышения боеспособности ВМФ России и международного престижа российского судостроения. В бытность Александра Васильевича руководителем ЦМКБ «Алмаз» было разработано несколько десятков проектов кораблей и судов, по которым для отечественных и зарубежных заказчиков было построено несколько сотен кораблей, судов и катеров.

Настоящим прорывом в середине 1990-х гг. стало создание сторожевого корабля пр. 12441 (шифр проекта «Гром»), разработкой проекта которого под руководством А. В. Шляхтенко блестяще справились конструкторы бюро, но, к сожалению, отечественная промышленность не смогла построить головной корабль в период перехода к рыночной экономике.

В конце 1990-х гг. прорывным стал проект корвета типа «Стерегущий». В настоящее время строительство серии корветов (проекты 20380, 20385, 20386) ведется на двух судостроительных заводах, и уже сейчас эти корветы составляют основу надводных сил ВМФ России.

В середине 2010-х гг. ЦМКБ «Алмаз» в кратчайший срок спроектировало новый малый ракетный корабль. Удалось создать максимально эффективный корабль весьма ограниченного водоизмещения, обладающий отличной мореходностью, высокой скоростью, способный наносить ракетные удары по наземным и надводным целям, находящимся за тысячами километров. При этом за счет внедренных конструкторских решений головные и серийные корабли

были быстро освоены отечественной промышленностью, а использование только отечественных изделий и комплектующих относительно невысокой стоимости позволило строить крупную серию кораблей пр. 22800 «Каракурт».

Для борьбы с морским минным оружием был разработан пр. 12700 корабля противоминной обороны «Александрит». Для решения поставленных задач на трапезнике этого проекта предусмотрено формирование противоминного контура с применением гидроакустических станций, размещенных как на самом корабле, так и на телеуправляемых и автономных подводных аппаратах, с интегрированной мостиковой системы и интегрированного главного командного пункта автоматизированной системы управления противоминными действиями.

Отдельной вехой в истории ЦМКБ «Алмаз» и отечественного судостроения стало создание линейки океанографических исследовательских судов специального назначения для Главного управления глубоководных исследований Министерства обороны. Говоря о созданных проектах в годы руководства А. В. Шляхтенко ЦМКБ «Алмаз», обязательно надо упомянуть серии пограничных кораблей и ледоколов различного назначения, успешное создание опытных, специальных, спасательных, представительских и прочих судов, о реализации доковой программы, разработках для гражданского судостроения и многом другом.

После завершения трудовой карьеры на должности руководителя бюро А. В. Шляхтенко не покинул родное предприятие и в новом статусе продолжает щедро делиться конструкторским и управленческим опытом с молодыми конструкторами и руководителями.

А. В. Шляхтенко награжден орденами Почета, «За заслуги перед Отечеством» II, III и IV степени, медалями «300 лет Российскому флоту», «В память 300-летия Санкт-Петербурга». Он – дважды лауреат Премии Правительства РФ в области создания новой техники. Имеет Почетные грамоты Министерства промышленности и торговли РФ, грамоту и благодарность Губернатора Санкт-Петербурга. Александр Васильевич – академик Санкт-Петербургской инженерной академии, автор более 40 изобретений, ряда научных работ.

Редакционный совет и редколлегия журнала «Морской вестник» сердечно поздравляют Александра Васильевича с 75-летием и желают ему крепкого здоровья, творческого и педагогического долголетия и больших успехов на благо отечественного судостроения и процветания нашей Родины! ■

В этом году исполнилось 100 лет со дня рождения Ивана Тимофеевича Егорова – специалиста в области теории корабля и гидроаэродинамики быстроходных судов, профессора, доктора технических наук, который почти 35 лет своей научно-технической деятельности отдал ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова и много лет руководил секцией быстроходных судов НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова. Он ушел из жизни сравнительно молодым, но успел внести значительный вклад в кораблестроительную науку.

Родился Иван Тимофеевич 29 февраля 1924 г. в старинном городе Елабуга с более чем 1000-летней историей, который находится в Нижнем Прикамье, на севере Республики Татарстан в семье служащего. В 1941 г. окончил Сарапульскую среднюю школу. В том же году был признан негодным к военной службе медицинской комиссией Сарапульского ОРВК и поступил учиться в Ленинградский химико-технологический техникум, после окончания которого направлен на работу в качестве исполняющего обязанности главного инженера на Яранский завод, где работал до 1945 г. в этой должности. В том же году поступил в Ленинградский кораблестроительный институт (ЛКИ), который окончил с отличием экстерном. В апреле 1950 г. был направлен на преддипломную практику в ЦНИИ-45 с последующим распределением на постоянную работу после окончания института. В характеристике, которую дал И. Т. Егорову директор ЛКИ профессор Е. В. Товстых при направлении на практику, отмечалась склонность к научно-исследовательской работе – к тому времени И. Т. Егоров уже написал три научные работы по теории корабля.

14 июля 1950 г. И. Т. Егорова зачислили в 13-й отдел ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова (далее – Институт), которым в тот момент руководил Г. А. Фирсов, на должность инженера. В декабре того же года он поступил в аспирантуру по специальности «Теория корабля». 4 февраля 1953 г. инженер-исследователя Егорова назначают ученым секретарем научно-технического совета Института. После защиты диссертации 27 июня 1953 г. уже кандидата технических наук назначают на должность младшего научного сотрудника. В 1955 г. И. Т. Егоров возглавил сектор ходкости и мореходности быстроходных катеров. 13 мая 1960 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Исследование гидродинамических сил, действующих на несущие поверхности корпуса корабля при неустановившемся движении».

Следует отдать должное решительности и прямоте суждений И. Т. Егорова, который, работая в области гидродинамики глиссеров и судов на подводных крыльях, сумел оценить продуктивность некоторых новых идей в области аэрогидродинамики и убедить директора Института В. И. Першина организовать в 1960 г. отдел с подразделениями узкого профиля, в том числе по судам на воздушной подушке (СВП) и экранопланам, к которым в то время откровенно скептически относились многие специалисты. Это был дальновидный шаг, свидетельствующий об умении распознавать перспективные идеи и возможность их практического воплощения. В мире еще только начинался бум интереса к судам с динамическими принципами поддержания, как их в дальнейшем стали называть, и во многом благодаря этой инициативе наша страна сумела сыграть на опережение и выйти в дальнейшем на передовые рубежи в этой отрасли судостроения.

Удачное сочетание энергии 35-летнего начальника отдела, энтузиазма увлеченных новыми идеями молодых выпускников ЛКИ, которым он читал лекции по теории

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРА И.Т. ЕГОРОВА

*О.П. Орлов, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник,
Т.А. Дьякова, вед. инженер,
Крыловский государственный научный центр,
контакт. тел. (812) 415 4526, (812) 415 4775*



Иван Тимофеевич Егоров

корабля и судам с динамическими принципами поддержания, а также опыта специалистов со стажем, пришедших в Институт из проектных организаций, всего за несколько лет был выполнен огромный объем теоретических и экспериментальных исследований по аэрогидродинамике судов на воздушной подушке, и уже к концу 60-х гг. были созданы первые серийные образцы – корабли «Джейран» и «Скат».

Иван Тимофеевич активно участвовал в натурных испытаниях «Джейрана», в то время крупнейшего в мире корабля на воздушной подушке. Решение возникавших в ходе его доводки вопросов, в первую очередь еще не изученного механизма работы гибкого ограждения воздушной подушки – «юбки», требовало оперативной отработки на моделях в мореходном бассейне.

В отделе, которым руководил И. Т. Егоров, в течение нескольких лет работали над решением задач по теории крыла вблизи границы раздела сред, поддержания и движения с высокой скоростью в условиях волнения, отработывалась методология испытаний моделей быстроходных судов всех типов по оценке ходкости, мореходности, устойчивости. Проводились испытания автономных радиоуправляемых и обитаемых моделей в натуральных условиях. Масштабы проведения и качество этих исследований не уступали западным, а по многим аспектам не имели аналогов. Уже позднее, когда было освоено создание многих новых, в том числе серийных, образцов судов, в отделе, которым руководил И. Т. Егоров, возникла узкая специализация по судам с динамическими принципами поддержания.

В описываемый период вышли десятки статей и монографий И. Т. Егорова, в том числе посвященных любимой теме – нестационарному движению, в частности, движению высокоскоростных объектов на волнении, в том числе в режиме рикошетирования, удару о воду. Иван Тимофеевич

блестяще знал гидромеханику и еще в своей докторской диссертации взялся за решение сложной задачи – расчету гидродинамических сил при движении глиссирующего катера по взволнованной поверхности воды. Обычные математические расчеты давали результаты, в которых сила удара о воду равнялась бесконечности. Но на самом деле удар, хотя и сильный, измерялся конечной величиной. В результате многочисленных модельных и натурных исследований И. Т. Егоров пришел к выводу, что причина расхождений практических результатов с расчетами кроется в наличии воздушной прослойки между водой и корпусом катера – изюминка всей диссертации. В 70-е гг. Иван Тимофеевич заинтересовался новыми вопросами в области искусственной кавитации, в результате появилась книга в соавторстве с его соратниками Ю. М. Садовниковым, И. И. Исаевым, М. А. Басиным «Искусственная кавитация» под его редакцией.

Нельзя не сказать о педагогической работе И. Т. Егорова, который еще при обучении в ЛКИ на последних курсах читал лекции по математике студентам Института им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Уже в первые годы пребывания в Институте он по собственной инициативе стал руководить работой технического кружка, ставившего целью обучить конструкторов и техников основам прикладной теории корабля. В дальнейшем Иван Тимофеевич осуществлял руководство работами десятков аспирантов и соискателей, читал лекции в различных учебных заведениях. Под его руководством защитили диссертации ведущие специалисты в области гидроаэродинамики судов и кораблей с динамическими принципами поддержания – Ю. М. Садовников, И. И. Исаев, С. Д. Прохоров, Е. А. Крамарев, В. Т. Соколов, А. Н. Панченков, Ю. Л. Панов, В. В. Кличко и многие другие. Иван Тимофеевич гордился успехами своих сотрудников и учеников, при этом никогда не препятствовал их уходу на самостоятельные руководящие должности.

Конечно, те, кто знал Ивана Тимофеевича, могут вспомнить и такое его качество, которое вызывало иногда, как принято говорить неоднозначное отношение, как некоторая амбициозность, которая у нас в России, в отличие от Запада, порой относят к порокам. Но это качество помогло ему, например, отстаивать свои позиции в науке. Один из сотрудников его отдела, молодой тогда инженер Владислав Кличко присутствовал в качестве ассистента на повторной защите докторской диссертации Ивана Тимофеевича в Высшей аттестационной комиссии в Москве и был свидетелем, как тот после обсуждения работы доказательно отверг все до одного замечания «чёрных» оппонентов, одним из которых был профессор Л. А. Эпштейн из ЦАГИ. И тогда к членам экспертной комиссии обратился ее председатель, сказавший о том, что, возможно, докладчик в чем-то и не прав, но ему всего 35 лет, и он

прирожденный боец., кому же тогда, как не ему и открывать дорогу в науку – степень доктора технических наук решением комиссии была Егорову присвоена.

Многие помнят И. Т. Егорова как научного руководителя, порой активно опекавшего своих аспирантов и соискателей, более 20 из которых защитили диссертации. Так, В. Т. Соколов, весьма известный специалист высшей квалификации в области судов на подводных крыльях, часто вспоминал помощь и настойчивость своего научного руководителя, побудившего его довести дело до получения ученой степени.

В сфере интересов Ивана Тимофеевича была и общественная деятельность, он был председателем общества охраны памятников архитектуры, истории и культуры Московского района Ленинграда, и только благодаря усилиям руководимого им органа полуразвалившаяся Чесменская церковь не была взорвана, решение о чем уже было принято, а отреставрирована, причем под контролем специалистов Института, рассчитавших прочностные характеристики сооружения. Восстановленная Чесменская церковь, построенная архитектором Ю. Фельтеном в 1780 г., потом многие годы была филиалом Центрального военно-морского музея, где принимали присягу курсанты военно-морских училищ города. Вместе с директором Эрмитажа Б. Б. Пиотровским Иван Тимофеевич поднял вопрос о сохранении Храма Св. Екатерины в Мурино, построенного в 1790 г. по проекту знаменитого архитектора Н. А. Львова на территории усадьбы графа С. М. Воронцова. При его участии рассматривался проект сохранения ансамбля Санкт-Петербургского Новодевичьего монастыря и других объектов истории и культуры нашего города.

Основные труды ученого не потеряли своей актуальности и сегодня. В их числе:

- Егоров И. Т. Удар о сжимаемую жидкость//ПММ. – 1956. –ТХХ. –Вып. 1.
- Егоров И. Т. Косой удар о жидкость//Изв.АН СССР. – Сер. ОТН. – 1957. – Вып. 8.
- Егоров И. Т., Соколов В. Т. Гидродинамика быстроходных судов. – Л.: Судостроение, 1965; 2-е издание, переработ., доп., 1965.
- Егоров И. Т., Садовников Ю. М., Исаев И. И., Басин М. А. Искусственная кавитация. – Л.: Судостроение, 1971.
- Егоров И. Т., Буньков М. М., Садовников Ю. М. Ходкость и мореходность глиссирующих судов. – Л.: Судостроение, 1978.
- Титов И. А., Егоров И. Т., Дробленков В. Ф. Ходкость быстроходных судов. – Л.: Судостроение, 1979.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаев И. И.* Моя работа в судостроении (Автобиографические очерки). – СПб.: Гангут, 2001. ■

Семьдесят лет назад впервые в истории ВМФ нашей страны в структуре управления флотом был создан специализированный центральный орган, руководящий деятельностью в области военного судоремонта – Главное управление судоремонтных заводов ВМФ (ГУСРЗ ВМФ).

Результатом функционирования этого ведомства явилось создание к 1980-м гг. 38 предприятий численностью более 55 тыс. человек, а также военно-строительных отрядов численностью 10 тыс. человек, которые работали как единый организм. Предприятиями был освоен ремонт кораблей и судов почти 300 проектов (в том числе более 50 проектов боевых кораблей).

В 1984 г. сдано из среднего и текущего ремонтов 190 заказов, докового ремонта – 771 заказ, дизелей 200 штук, ГТУ – 17 штук. Это составляло более 67% годовых объемов судоремонта и около 80% доковых ремонтов ВМФ.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ГЛАВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СУДОРЕМОНТНЫХ ЗАВОДОВ ВМФ*

Военно-Морской Флот СССР внес значительный вклад в дело разгрома врага в Великой Отечественной войне и, по оценке Верховного главнокомандующего, «до конца исполнил свой долг перед Родиной».

При этом большинство кораблей, многие из которых получили аварийно-боевые повреждения, находились в крайне изношенном состоянии. Объем ремонта, проводимого в годы войны, был сокращенным, что определялось необходимостью ускоренного ввода кораблей в строй. Плановый ремонт, *цель которого – устранение эксплуатационного износа техники и восстановление ее ресурса*, был почти полностью прекращен. При этом нормативные межремонтные сроки кораблей, построенных в предвоенные годы, истекли.

Нормативная продолжительность ремонта, установленная «Положением по организации ремонта...» 1944 г., не была достигнута ни по одному классу кораблей и виду.

При нормативном сроке капитального ремонта один год лидер «Ленинград», ремонтировался на КМОЛЗ 8 лет 1 месяц. Ремонт эсминца «Грозный» на 35 СРЗ занял 6 лет 9 месяцев (39% полного срока службы корабля).

Трудности с ремонтом усугублялись нахождением в составе флота более 400 кораблей с механизмами иностранного производства, отечественных, построенных в предвоенный период, трофей-

*По материалам издания «История отечественного военного судоремонта», 2004 г., т. 1.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВЫПОЛНЕНИЯ СУДОРЕМОНТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ ЭФФЕКТИВНОГО РЕМОНТА МОРСКОЙ ТЕХНИКИ К 70-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ ГУСРЗ ВМФ И 51 ЦКТИС

Г.Н. Муру, канд. техн. наук, ген. директор АО «51 ЦКТИС»,
контакт. тел. (812) 315 4945



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

ных и переданных по ленд-лизу. Только двигателей зарубежных марок насчитывалось более 5000. Техническая документация по большинству иностранных кораблей и механизмов отсутствовала, запасные части не поставлялись и не выпускались отечественной промышленностью. Обеспеченность судоремонтом при этом составляла в среднем 40%.

Результатом этого стало массовое невыполнение норм содержания сил в строю из-за накопления в составе флота неисправных кораблей. Количество кораблей, эксплуатируемых на износ, росло.

В 1949 г. начальник Главного морского штаба адмирал А. Г. Головкин оценивал положение дел с судоремонтом как угрожающее, а с докованием как катастрофическое.

Проверка состояния сухих и плавучих доков, проведенная Министерством государственного контроля СССР в 1949 г., выявила, что «доки во флотах и флотилиях ВМС находятся в крайне запущенном состоянии». Признавалось, что существующие мощности судоремонтных предприятий (СРП):

– не могут обеспечить в потребном объеме ремонт кораблей и судов ВМФ;

- отвлекаются на ремонт гражданских судов и другие неотложные народнохозяйственные цели;
- планы капитального строительства и наращивания мощностей СРП не выполняются.

Восстановление в 1950 г. Военно-морского министерства способствовало принятию руководством страны постановления «О мероприятиях по судоремонту и развитию судоремонтных предприятий Военно-морских сил» от 30.07.1951 г.

Вместе с тем, оценивая состояние СРП ВМС в 1954 г., врио начальника ГУ ВМС инженер-вице-адмирал И. Я. Стеценко в своем докладе ГК ВМС отмечал,



что «в результате недостаточного выделения и неудовлетворительного освоения ассигнований ... действующие СРП ВМС не подверглись коренной реконструкции и в большинстве случаев представляют собой отсталые в техническом, технологическом и организационном плане заводы и мастерские, не отвечающие требованиям, предъявляемым к ремонту новой техники современных кораблей». Подавляющая часть станочного парка (89%) была укомплектована оборудованием довоенного производства, в том числе трофейным. Часть цехов размещалась в мало приспособленных помещениях или даже «носила характер навесов и сараев», 28% производственных площадей были не пригодны для использования.

Структура управления СРП ВМС тоже имела ряд недостатков:

- во-первых, при подчинении заводов непосредственно флотам, их загрузка была крайне неравномерной, так как целиком зависела от планов боевой подготовки и оперативных планов командования. Номенклатурные планы и сроки ремонта часто менялись, что усложняло подготовку производства и внутризаводское планирование. Командование флота зачастую оказывалось недостаточно компетентно в вопросах производства и, требуя выполнения поставленных задач, не могло квалифицированно помочь в их решении;
- во-вторых, внимание командования сосредоточивалось на крупных и технически оснащенных заводах, которые и загружались основными заказами флота, в том числе и не по судоремонту. При этом судоремонтные мастерские загружались недостаточно. Это приводило к нерациональному использованию дефицитных производственных мощностей;
- в-третьих, штатная численность отдела производственных предприятий (4 отдела) ТУ ВМС составляла всего девять офицеров и девять вольнонаемных служащих, а штатная численность аналогичного отделения техотдела флота – 2 офицера и 7 служащих. Этого было явно недостаточно для полноценного руководства деятельностью предприятий;
- в-четвертых, отсутствовала система централизованного снабжения. Практически всеми видами материалов предприятия обеспечивались флотами. При этом материально-техническое снабжение осуществлялось восемью различными отделами флота, которые заявки СРП считали второстепенными и удовлетворяли «по остаточному принципу». За 1948 г. потребность Северного флота в материалах была удовлетворена на 30–40%, а по некоторым

видам материалов всего на 10–15%; в-пятых, объединение функций заказчика и исполнителя снижало ответственность при планировании и выполнении производственных планов, позволяло находить решения, часто в ущерб деятельности СРП.

На заседании коллегии МО СССР 14.7. 1955 г. адмирал С. Г. Горшков, назначенный первым заместителем ГК ВМС, сделал неутешительный вывод: «с ремонтом кораблей заводы не справляются, и мы можем выйти к войне с флотом, требующим ремонта».

Таким образом, отмечая значительные достижения в развитии судоремонтной базы отечественного ВМФ в 1945–1955 гг., необходимо признать, что в целом послевоенные планы военно-морского строительства оказались составлены с превышением реальных возможностей экономики государства, что не позволило добиться их выполнения. При распределении ресурсов безусловный приоритет отдавался строительству боевых кораблей и развитию необходимых для их создания предприятий и организаций. В результате прирост производственной мощности судоремонтной базы ВМФ, строительство которой финансировалось по остаточному принципу, оказалось существенно меньше, чем это предусматривалось планами и требовалось, исходя из потребностей бурно развивающегося корабельного состава.

СОЗДАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОРГАНА В ОБЛАСТИ ВОЕННОГО СУДОРЕМОНТА

В 1954 г. адмиралы Н. Г. Кузнецов, Ф. В. Зозуля, Л. И. Караганов, П. Г. Котов подготовили аналитическую записку о развитии судоремонтной базы флота, по которой Совет Министров страны принял ряд принципиальных решений.

В целях коренного улучшения руководства деятельностью флотских СРЗ создан центральный орган, непосредственно отвечающий за работу заводов, обеспечение их производственной программы материалами, разработку и внедрение передовых методов организации труда и технологии производства, подготовку необходимого количества квалифицированных рабочих, ИТР и служащих, кооперирование предприятий ВМС, за организацию и контроль выполнения решений правительства по реконструкции и строительству СРП и их дальнейшее развитие.

Начальнику ГУСРЗ ВМС подчинили по фактическому состоянию и балансу на 1.04.1954 г. 25 предприятий: 35, 82, 6, 176, 180 СРЗ, 23, 28, 36, 7, 177, 33, 29, 99, 25, 179, 178, 90, 92, 102, 37 КОЛМЗ; 1,5 судовой верфи; плавмастерские ПМ-22, СМ-1188.

Созданию ГУ СРЗ, наделение его широкими правами в отношении уп-

равления заводами, упразднение многоступенчатости в принятии решений вплоть до перераспределения всех видов ресурсов между заводами разных флотов позволило без дополнительного финансирования и капитальных затрат использовать объединенную мощность заводов на наиболее критических направлениях судоремонта.

По плану межзаводской кооперации заводы, имеющие недозагруженные участки, начали поставлять остальным СРЗ по согласованным ценам и срокам необходимые изделия, а создание центральной базы технического имущества заметно снизило напряжение в МТО.

Решение Правительства СССР о распространении на ГУСРЗ ВМФ прав промышленных главков обратило особое внимание на улучшение организации труда, использование производственных площадей, оборудования, доковых средств и средств механизации, а также на все виды подготовки производства.

Для документального обеспечения поставленных задач в системе ГУСРЗ создали головную конструкторско-технологическую организацию – ГКТО, ныне – 51 ЦКТИС.

РОЛЬ ГОЛОВНОЙ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ВОЕННОГО СУДОРЕМОНТА

Коренное улучшение в обеспечении корабельного состава судоремонтном требовало создания на СРЗ необходимых условий для обеспечения возможности проведения ремонтных работ на надлежащем (соответствующем) техническом и организационном уровне с минимальными затратами ресурсов и в установленные сроки.

Ремонт «по опыту» необходимо было заменить ремонтом согласно требованиям технической документации. Для этого требовалось:

- обеспечить СРП нормативной, проектной и иной технической документацией;
- переоснастить заводы, укомплектовав их современным оборудованием, средствами технологического оснащения и специальными стендами;
- создать необходимые энергетические мощности;
- сформировать компетентный и подготовленный персонал.

Самостоятельно преодолеть эти проблемы заводы не могли. Решение поставленных жизнью вопросов судоремонта с наименьшими затратами было возможно только централизованно.

Деятельность Центрального конструкторско-технологического бюро ВМФ (ныне – 51 ЦКТИС) в корне изменила систему формирования и реализации единой технической политики,

разработки и обеспечения всех видов необходимой документации.

Среди основных задач, решенных институтом, было формулирование условий, обеспечивающих комплексный ремонт кораблей:

- в заданном объеме;
- в установленные сроки;
- с заданным уровнем качества;
- с минимальными трудовыми и материальными затратами.

Это направление получило название подготовки производства (ПП) и представляет собой комплекс взаимосвязанных задач, сгруппированных по следующим видам:

- 1) организационная ПП;
- 2) конструкторская ПП;
- 3) технологическая ПП;
- 4) техническая ПП;
- 5) строительство и реконструкция предприятия;
- 6) подготовка кадров.

Сегодня уже необходимо напомнить основные функции разных видов ПП:

- 1) *конструкторской*:
 - обеспечение конструкторской документацией;
 - привязка конструкторской документации;
 - разработка недостающей конструкторской документации для ремонта.
- 2) *технологической*:
 - конструктивно-технологический анализ корабля, обеспечение ремонтной и модернизационной технологичности корабля и комплектующих изделий;
 - разработка типовых организационно-технических документов и технологических процессов;
 - проектирование и изготовление средств технологического оснащения, деталей нулевого этапа;
 - уточнение номенклатуры и объема работ по ремонту корабля и комплектующих изделий.
- 3) *материально-технической*:
 - обеспечение материалами для ремонта корабля и изготовления средств технологического оснащения, а также СТО, изготавливаемыми промышленностью;
 - обеспечение комплектующими корабль изделиями и запасными частями для ремонта корабля, покупными изделиями для изготовления СТО.
- 3) *строительства и реконструкции предприятия*:
 - определение потребности в строительстве и реконструкции предприятия и подготовка исходных данных для проектирования;
 - проектирование реконструкции и технического перевооружения действующих и создания новых специализированных производств (участков);
 - реконструкция и техническое пере-

вооружение действующих и создание новых специализированных производств (участков).

4) *подготовка кадров*:

- укомплектование рабочими и ИТР до численности, необходимой для выполнения заданного объема производства;
- обучение рабочих и ИТР ремонту новой техники и новым технологическим процессам, применяемым при ремонте корабля.

Институтом был определен перечень необходимых документов и разработаны все виды документации по подготовке производства предприятий – нормативные, конструкторские и технологические. Внедрение документов на предприятиях осуществлялось при деятельном участии института с составлением сводных планов ПП к тому или иному виду ремонта и контроля их исполнения.

Проверка готовности предприятия к заводскому ремонту корабля осуществлялась комиссией, включавшей, в том числе, представителей ТУ ВМФ. В результате проверки определялась степень технологической подготовленности (ТП) производства СРП, которая являлась основным критерием при определении возможности размещения заказа для планового ремонта.

Степень ТП могла быть *полная, или первая* (если все ремонтные работы могут быть выполнены с более низкими технико-экономическими показателями, обусловленными несовершенством оборудования и технологий), а также *вторая* (характеризуется выполнением всех ремонтных работ только при привлечении контрагентов). Более низкая степень подготовленности производства, не обеспечивающая техническую возможность выполнения всех ремонтных работ, давала основание выдать обоснованное отрицательное заключение о постановке заказа в ремонт на данном предприятии.

Сегодня зачастую практика неоднократного увеличения сроков и стоимости ремонта кораблей и судов связана с игнорированием требований ПП.

Справедливости ради, необходимо отметить, что реализации принципов ПП в современных условиях хозяйствования не способствует отсутствие специализации предприятий. В условиях действия национальной контрактной системы в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных нужд, отсутствия регламентированной специализации не дает СРП экономических оснований для перспективной и предварительной ПП к ремонту проектов кораблей и судов новых для себя.

Заблаговременную ПП к ремонту кораблей новых, современных проектов кораблей невозможно осуществить без наличия всей необходимой документа-

ции. Для создания первичных условий ПП СРП в институте за эти годы создан уникальный сводный фонд (архив) документации на большинство кораблей, судов ВМФ, комплектующие их изделия и составные части. Институтом был разработан и усовершенствован в течении десятилетий стандартизированный порядок определения необходимых ремонтных работ на базе типовых ремонтных ведомостей, а также типового состава трудовых операций, норм времени и расхода ЗиП, материалов.

Сегодня в соответствии с требованиями времени разработанный массив документов трансформируется на базе информационных технологий.

Несколько лет назад, оформив лицензию на образовательную деятельность сотрудники института осуществляют и кадровую подготовку производства по ряду учебных программ.

Всю свою 70-летнюю историю в институте стремились к расширению возможностей СРП к наиболее эффективному ремонту морской техники.

Первые четверть века ведущими специалистами и руководителями института были участники Великой Отечественной войны, которые имели большой опыт эксплуатации и устранения аварийно-боевых повреждений кораблей и судов. Они учитывали в своей деятельности возможность рационального упрощения организации и управления процессом ремонта путем оптимизации объема работ и формирования допустимых замен и отклонений в размерах, нормах, показателях без снижения надежности и сохранения характеристик техники в межремонтные периоды.

Следующими поколениями 51 ЦКТИС были первопроходцы атомного подводного судоремонта, опытные специалисты комплексных ремонтов.

На всех этапах своей истории институт корректировал свою деятельность, оценивая актуальные возможности предприятий и задачи флота. Как правило, в методике оценки той или иной деятельности включаются показатели эффективности, которые определяют соотношение результата и затрат, т.е. насколько быстрее при меньшем расходе ресурсов достигается необходимый результат.

По мнению автора, оценка возможностей судоремонтного предприятия по эффективному ремонту морской техники наиболее достоверна в результате проверки выполнения мероприятий ПП.

В условиях сегодняшней эскалации военно-политического противостояния стран «коллективного Запада» с нашей страной, концентрация усилий всей кооперации технического обслуживания и ремонта морской техники на основе современных научно-технологических решений жизненно-необходима и вполне реализуема. ■

Вспомним времена, когда на кораблях ничего не было, за исключением крашенных переборок, зашитых алюминиевым листом. Создание стеновых и подволочных панелей способствует изолированию экипажа от потенциальной опасности.

Установка на судне сэндвич-панелей позволяет выполнять отделку жилых, служебных и общественных помещений кораблей, судов, плавсредств и промышленного производства. Сэндвич-панели используются прежде всего в качестве огнезадерживающих, теплоизолирующих и шумопоглощающих элементов. Они изолируют шум внутри помещений для комфортного пребывания на корабле, не пропуская громких звуков от двигателя, насосных установок и других систем и механизмов судна. Минеральная вата позволяет обеспечить огнестойкость за счет состава и держать температуру до 1000 °С. Теплоотдача панелей небольшая, благодаря чему в помещении круглосуточно сохраняется стабильная температура.

ООО «Морские комплексные системы» (МКС) в 2023 г. начало выпускать сэндвич-панели, подходящие под задачи помещения, в котором планируется зашивка. Сэндвич-панели производства МКС успешно применяются на различных кораблях и судах. Поставляются с декоративным покрытием и без него. Декоративное покрытие может быть как с одной, так и с двух сторон. Цвет (рисунок) декоративной облицовки выбирается по каталогам изготовителя панелей и оговаривается в монтажных чертежах, заказных ведомостях или спецификациях. Изделия отвечают требованиям эксплуатации судов с неограниченным районом плавания по ГОСТ 15150, климатическое исполнение изделий ОМ, категории 4.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ. КОНСТРУКЦИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ

Сэндвич-панели представляют собой коробчатые оболочки из оцинкованной листовой стали (Ст3 ГОСТ 380) по ГОСТ 14918 или полированной нержавеющей стали (08Х18Н10 ГОСТ19904) по ГОСТ 5582 толщиной $S = 0,6$ мм с минераловатным наполнителем. Жесткость таких панелей обеспечивается соединением отфланцованных кромок с оболочками, а также прочностью соединения оболочек с наполнителем. Сэндвич-панели по длинной стороне заканчиваются с одной стороны пазом, с другой – выступом. Панели по коротким сторонам заканчиваются обрезными кромками без отфланцовки.

СОВРЕМЕННЫЕ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛИ КАК СИСТЕМА ЗАШИВКИ ПОМЕЩЕНИЙ НА КОРАБЛЯХ

*П. А. Зубков, канд. техн. наук, ген. директор,
А. А. Петрова, менеджер по маркетингу,
ООО «Морские комплексные системы»,
контакт. тел. (812) 441 2401*

В качестве наполнителя применяются негорючие минераловатные плиты. Для формирования систем зашивки используют наполные, дистанционные, соединительные, угловые, фланцы, пороги специальные, плинтусы и инспекционные лючки.

Существует несколько видов панелей: стеновая, подволочная, стеновая усиленная (армированная), с кабельным каналом, стеновая для влажных помещений.

Начнем с рассмотрения наиболее простой стеновой панели.

Сэндвич-панели стеновые толщиной 25 мм предназначены для использования в качестве зашивки бортов, наружных и внутренних корпусных выгородок и перегородок, а также для изготовления двухрядных переборок типов В-15, не имеющих корпусной основы и обрешетки.

Сэндвич-панели стеновые толщиной 50 мм предназначены для изготовления однорядных переборок типа В-15, не имеющих корпусной основы и обрешетки (каркаса).

Таблица

Примеры обозначений изделий в РКД

Обозначение	Наименование
Пример 1.	
<i>Панель стеновая 50, шириной 550, высотой 2150 мм, поверхности А, Б – сталь оцинкованная, облицованная пленкой ПВХ с двух сторон (шифр расцветки поверхностей А и Б соответственно цвет 027-6295 и цвет 026-В16)</i>	
АЛТВ.363325.003-07-07 ТУ 5637-002-98603262-2013	Панель стеновая 50 (50×550×2150, А, Б – ст. оцинк., А – 027-6295 / Б – 026-В16)

Стеновые сэндвич-панели подразделяют на два типа. Стеновые сэндвич-панели первого типа по длинной стороне заканчиваются с одной стороны пазом, с другой – выступом (рис. 1). Данный тип сэндвич-панелей используется для зашивки небольших помещений, где по очереди зашиваются переборки.

Стеновые сэндвич-панели второго типа по длинной стороне с обеих сторон заканчиваются пазами (рис. 2). Использование в конструкции зашивки панели этого типа позволяет выполнять зашивку помещения с двух разных сторон одновременно, значительно экономя время монтажа.

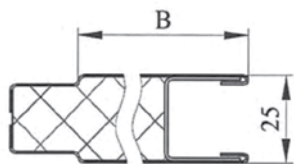


Рис. 1. Сэндвич-панель стеновая 1 типа

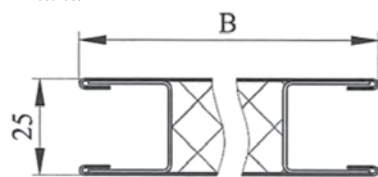


Рис. 2. Сэндвич-панель стеновая 2 типа

Для исключения установки дополнительного приварного насыщения на корпусные выгородки, перегородки и переборки корабля для крепления оборудования и систем были специально разработаны усиленные стеновые сэндвич-панели (рис. 3).

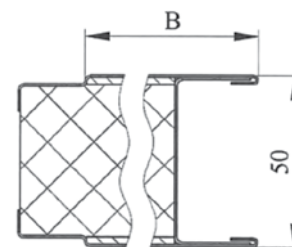


Рис. 3. Панель стеновая усиленная 50 мм

В конструкцию усиленных стеновых панелей включается дополнительный металлический лист, благодаря которому возможны крепления массогабаритного оборудования и других различных систем, закрепляемых прямо на стеновую панель при помощи стандартного крепежа. Данный вид панелей существенно уменьшает объем работ при установке приварного насыщения и обеспечивает более быстрый монтаж оборудования.

Для обеспечения эстетичного вида помещений, а также для удобства мон-

тажа кабельных трасс и кабелей для питания розеток, выключателей, светильников и другого навесного электрооборудования были разработаны стеновые сэндвич-панели с установленным внутри кабель-каналом (рис. 4).

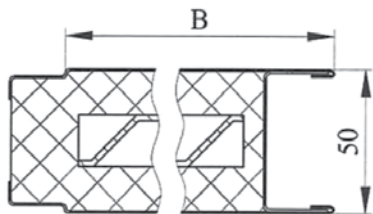


Рис. 4. Панель стеновая 50-мм с кабельным каналом

Такие сэндвич-панели позволяют проводить все кабельные трассы и кабели внутри панелей, впоследствии выводя их только в необходимые места, в заранее высверленное отверстие, сохраняя при этом аккуратный вид панелей.

При применении стеновых сэндвич-панелей с кабель-каналом пропадает необходимость в использовании различного приварного насыщения и дополнительного крепежа для закрепления кабельных трасс и кабелей, все эти функции на себя берет кабель-канал в стеновой сэндвич-панели.

Специально для использования в помещениях с увеличенной влажностью: душевые, санузлы и раздевалки, были разработаны стеновые сэндвич-панели для влажных помещений (рис. 5).

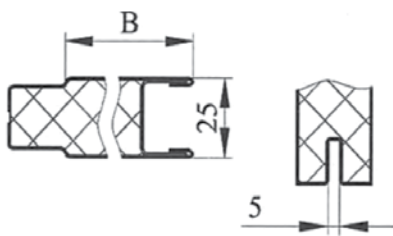


Рис. 5. Панель стеновая для влажных помещений 25-мм

Их изготавливают по тому же принципу, что и стандартные стеновые сэндвич-панели: по длинной стороне они заканчиваются с одной стороны пазом, а с другой – выступом. Однако в отличие от стандартных стеновых сэндвич-панелей, внизу данной панели, по короткой стороне, дополнительно в конструкцию встраивается согнутый лист с пазом.

При монтаже по периметру помещения во всех влажных помещениях используют металлический комингс. Данная конструкция позволяет устанавливать влажные стеновые сэндвич-панели для обеспечения герме-

тичности и надежности конструкций системы зашивки, предотвращая попадание влаги и воды в подзашивочное пространство.

Стеновые панели для влажных помещений могут быть изготовлены из углеродистой или нержавеющей сталей по желанию заказчика. Стеновые панели, изготовленные из нержавеющей стали, обеспечивают на долгие годы защиту от воды и влаги, а в случае появления коррозионного налета на панелях его легко убрать с помощью моющих средств.

По аналогии со стандартными стеновыми сэндвич-панелями, для исключения установки дополнительного приварного насыщения на корпусные выгородки, перегородки и переборки корабля во влажных помещениях, а также для крепления оборудования и систем были разработаны усиленные стеновые панели для влажных помещений (рис. 6).

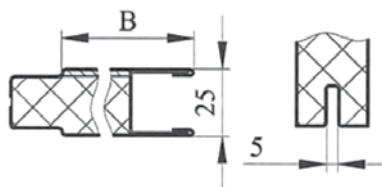


Рис. 6. Панель стеновая усиленная для влажных помещений 25-мм

В конструкцию таких панелей для влажных помещений встраивается дополнительный металлический лист, благодаря которому возможно крепление массогабаритного оборудования и различных систем прямо на стеновую панель при помощи стандартного крепежа.

При зашивке помещения возможна компоновка стандартных стеновых сэндвич-панелей для влажных помещений и усиленных. Это позволяет универсально подойти к зашивке каждого помещения и устанавливать в необходимых местах определенные стеновые сэндвич-панели.

Сэндвич-панели подволочные используются в качестве зашивки подволоков (рис. 7). Разработаны по тому же принципу, что и стеновые сэндвич-панели: по длинной стороне они заканчиваются с одной стороны пазом, с другой – выступом. Главное отличие подволочных сэндвич-панелей от стеновых в том, что их паз сделан с одной стороны короче, а с другой – длиннее. Для таких сэндвич-панелей предусмотрена облицовка декоративной полимерной пленкой с одной стороны, другая сторона изготавливается без покрытия. Такая конструкция дает возможность быстрой разборки панелей подволока для обслуживания систем и оборудования.

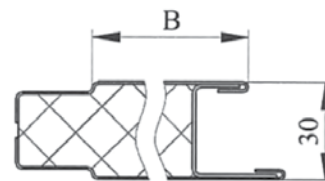


Рис. 7. Панель подволочная 30-мм

С учетом сложности работ под подволочным пространством такое конструкторское решение позволяет легко отодвинуть панель и снять ее с направляющих профилей системы зашивки. После проведения всех работ подволочные панели легко и быстро устанавливаются обратно, не требуя много времени на монтаж.

СЭНДВИЧ-ПАНЕЛИ В ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ

Сэндвич-панели применяют не только в судостроении но и в других отраслях. Так, возможна облицовка сэндвич-панелями контейнеров для кафе, магазинов, так набирающих популярность на территории России в последнее время. Благодаря огнестойкости сэндвич-панели могут в течение некоторого времени сдерживать огонь, позволяя спасти сотрудников и удерживать пламя до приезда спасательной бригады.

Также применение сэндвич-панелей возможно в бизнес-центрах, больницах, поликлиниках, в местах, где нужно скрыть системы. Сейчас помимо кораблей, сэндвич-панели используются для разделения зон на производственные помещения. Модульная конструкция позволяет разобрать, обновить сэндвич-панели, не требуя дополнительных средств, благодаря чему происходит значительная экономия финансов. В случае необходимости отремонтировать оборудование панель легко снять, демонтировать, не разрушая красочный слой. Способы монтажа, демонтажа, компоновки панелей зависят от пожеланий заказчика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря своим огнезадерживающим, теплоизолирующим и шумопоглощающим качествам и простоте монтажа, сэндвич-панели являются отличным выбором для отделки помещений как кораблей, так и обычных жилых и производственных помещений. При выборе подходящих сэндвич-панелей важно учитывать все их особенности и технические характеристики для обеспечения качественной и надежной установки. Сэндвич-панели производства МКС также отличаются долговечностью, что делает их привлекательным вариантом для заказчиков, строителей и проектировщиков. Это современный и эффективный материал, который имеет широкий спектр применения и отличные характеристики. ■

Согласно актуальным данным регистрационных книг Регистра судоходства (РС) и Российского классификационного общества (РКО) в России используются 174 плавучих дока различной конструкции и грузоподъемности [1]. В эту статистику входят как стационарные ремонтные доки, так и специализированные транспортные, передаточные и др. Из них в РС значатся 36 ед., в числе которых – 17 композитных плавучих доков (ПД); остальные 138 – в РКО, из них 21 – композитный.

Средний срок службы плавдоков по состоянию на 2023 г. в РС и РКО примерно равный и составляет 45 и 46 лет соответственно.

Положением Р 31.3.08–04 Минтранса РФ [2] установлена продолжительность эксплуатации композитных плавдоков 60 лет при условии проведения капитального ремонта через 25 лет. В других ведомствах установлены значительно меньшие сроки службы композитных плавдоков (ПД).

К сожалению, сведениями о систематической постановке ПД на заводской ремонт авторы практически не располагают за единичными исключениями.

Устоявшаяся тенденция в ближайшие годы может привести к лавинообразному выводу ПД из эксплуатации, а через один–три года и к фатальному сокращению состава эксплуатирующихся кораблей и судов.

Представляются два пути выхода из сложившейся ситуации: немедленная закладка на верфях новых ПД и поддержание (восстановление) технического состояния (ресурса) эксплуатирующихся.

Учитывая текущую загрузку верфей по действующим программам и необходимость разработки (актуализации с учетом современных требований) конструкторской документации, весьма вероятным представляется возникновение некоторого временного разрыва, характеризующегося жестким дефицитом доковых мощностей. При этом относительно свободными остаются мощности ПАО «ССК» и АО «ЦКБ «Монолит» в центре отечественного железобетонного судостроения – г. Городец Нижегородской области, что небезынтересно, особенно с учетом сравнительно низкой стоимости постройки композитных ПД и возникновением дополнительной нагрузки на производство строительных материалов.

Самым рациональным способом преодоления временных трудностей должна стать «техническая инвентаризация» докового хозяйства (обследование железобетонных понтонов, освидетельствование и дефектация ПД) и по их результатам последующее выполнение ремонтно-восстановительных работ.

ВОПРОСЫ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЯ И РЕМОНТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫХ ПЛАВУЧИХ ДОКОВ

В.В. Харитонов, гл. специалист – начальник группы отдела организации управления и подготовки производства,

И.А. Васильев, гл. специалист отдела организации управления и подготовки производства, АО «51 ЦКТИС»,
контакт. тел. +7 (981) 749 8375, +7 (964) 383 6166

Заслуживает внимания и возвращение к действующему статусу наиболее удачных комплектов ранее разработанной конструкторской документации, на основании которой были построены серии ПД проектов 1758, 10090 и 19550, испытанные десятилетиями интенсивной эксплуатации. Желательно решить это путем оформления допустимых отступлений от современных требований в виде административных актов соответствующих ведомств.

Однако вернемся к проблемам проведения освидетельствования композитных ПД как необходимой и неотъемлемой части их ремонта.

Условия работы композитных ПД (железобетонный понтон, металлические башни) являются в значительной мере экстремальными. Железобетонные конструкции ПД подвергаются всем известным влияниям окружающей среды, поскольку они эксплуатируются в разных климатических зонах.

Одновременно с этим конструкции ПД испытывают влияния широкого спектра нагрузок: постоянных – объекты на стапель-палубе, давление воды; статических переменных – выталкивающие силы воды, силы, действующие при прогибе и перегибе корпуса дока; динамических переменных – удары и навалы волн, в результате которых в железобетоне возникают напряжения разной величины и переменного направления.

Во всех климатических зонах эксплуатации бетон корпусов композитных ПД попеременно увлажняется и высушивается, испытывает агрессивное воздействие солей морской воды, вследствие чего возникает химическая коррозия (в результате реакции между цементным камнем и солями, растворенными в воде), обрастает водорослями и моллюсками. Кроме того, в южных морях действие химической коррозии усиливается повышенной температурой, влажностью при многократных и попеременных увлажнениях и высыханиях, а в северных и восточных морях судостроительный бетон в зимний период многократно попеременно замораживается и оттаивает.

Основными дефектами железобетонных конструкций корпуса [3], подлежащими выявлению при обследовании понтона, являются:

- пробоины в плитах обшивки;
- отколы и выкрашивания защитного слоя бетона;
- трещины элементов корпуса и набора;
- коррозионный износ бетона и арматуры;
- сильная карбонизация, выражающаяся в наличии на поверхности бетона продуктов его разрушения в виде сталактитов (высолы);
- фильтрация воды через обшивку переборок, днище и наружные борта.

В свою очередь, коррозионный износ конструкций ПД включает:

- растворение составных частей цементного камня;
- коррозию бетона при взаимодействии цементного камня с содержащимися в воде кислотами;
- коррозию бетона вследствие образования и кристаллизации в порах труднорастворимых веществ.

Кроме вышеописанных коррозионных разрушений бетона при наличии микроорганизмов возможно возникновение биокоррозии. Грибки, бактерии и некоторые водоросли могут проникать в поры бетонного камня и там разрастаться. В порах откладываются продукты их метаболизма и постепенно разрушают структуру бетонного камня.

Коррозия бетона становится причиной одновременного возникновения нескольких прочих видов дефектов из ранее указанных.

Экстремальными условиями можно назвать и воздействие на бетонный камень очень низких температур и различных веществ, обладающих повышенной агрессивностью.

В конструкциях используют залитую бетоном железную арматуру, т. е. железобетон, где возможно протекание еще одного вида разрушения – коррозии арматуры в бетоне. Под воздействием забортных и дождевых вод, при наличии в воздухе сероводорода, хлора,

сернистых газов арматура в массиве бетона корродирует с образованием продуктов оксида железа. По объему они превышают начальный объем арматуры, что приводит к возникновению и росту внутренних напряжений, а в дальнейшем к растрескиванию бетона. Сквозь поры в цементном камне к арматуре проникает воздух и влага. Подвод их к поверхности металла происходит неравномерно из-за чего на разных участках поверхности наблюдаются разные потенциалы – возникает электрохимическая коррозия. Скорость протекания электрохимической коррозии арматуры зависит от влагопроницаемости, пористости бетонного камня и наличия в нем трещин. Наличие в воде растворенных веществ усиливает коррозию арматуры с повышением концентрации электролита.

Плавучие доки судоремонтных предприятий эксплуатируются практически ежедневно, 24 часа в сутки. Как правило, собственники судоподъемных средств пренебрегают проведением капитальных ремонтов, что зачастую приводит к выводу доков из эксплуатации, запретам на эксплуатацию, а в худшем случае и к аварийным ситуациям.

Вследствие этих особенностей обслуживания доков на судоремонтных предприятиях техническое состояние сооружений далеко от идеального. К тому же в силу возраста грузоподъемность значительной части доков, особенно композитных, уже существенно снижена.

Как правило, продлением ресурса и ремонтно-восстановительными работами на железобетонных конструкциях занимаются специализированные организации. Подобные работы либо крайне дорогостоящие, либо на возрастных конструкциях положительных результатов не дают. При этом важнейшей задачей освидетельствования и последующей дефектации как раз и является определение ремонтпригодности и снижение затрат.

Долговечность железобетонных корпусов зависит от использованных при строительстве материалов, присадок, технологии изготовления, условий эксплуатации и наблюдения за состоянием и своевременным устранением возникающих дефектов, что подтверждает главный инженер АО «ЦКБ «Монолит» М. С. Горохов: «Основными ошибками при ремонте и эксплуатации композитных плавучих доков являются:

1. Нарушение технологии строительства железобетонного понтона в период позднего СССР в условиях «дефицита»:
 - замена сульфатостойкого портландцемента на обычный низкомарочный;
 - экономия на цементе.

2. Нарушение регламента проведения периодических освидетельствований железобетонного понтона.

3. Отсутствие квалифицированного подхода к ремонту железобетонных корпусных конструкций.

4. Нарушение правил эксплуатации композитных плавучих доков:

- не учитывается сульфатостойкость бетона при смене места эксплуатации плавучего дока;
- не учитываются климатические факторы (несоблюдение температурного режима внутри сухих и балластных отсеков);
- отсутствуют планово-предупредительные ремонты, которые можно выполнять силами команды без вывода дока из эксплуатации;
- превышаются допустимые нагрузки от докуемых судов».

Характер типовых дефектов и условия эксплуатации доков показывают, что повышенному износу подвергаются прежде всего следующие конструкции:

- поверхность стапель палубы;
- наружные борта, по линии переменной ватерлинии;
- днище понтона;
- зона соединения стапель-палубы с башнями дока;
- внутренний водонепроницаемый борт понтона;
- продольные и поперечные водонепроницаемые переборки балластных отсеков;
- водонепроницаемые переборки сухих отсеков.

Состав и последовательность проверок и измерений, которые необходимо выполнить при обследовании понтона, определяют, исходя из характера, количества и размеров дефектов на железобетонных конструкциях понтона. Особое внимание при обследовании должно быть уделено основным корпусным конструкциям, обеспечивающим общую и местную прочность дока, а также его непотопляемость, например, таким, как наружные борта, водонепроницаемые переборки, балластные и сухие отсеки (БО и СО), стапель-палуба, что при обследовании понтона учитывается не всегда.

АО «51 ЦКТИС» в 2023 г. разработаны технологические инструкции на проведение дефектации и ремонтно-восстановительные работы на корпусных конструкциях железобетонного понтона ПД. Также с целью определения организации, порядка подготовки, проведения, объема работ и технических требований к обследованию железобетонного понтона ПД, определения возможности его дальнейшей эксплуатации в заданных условиях, выработки предложений по обеспечению дальнейшей безопасной (безаварийной) эксплуатации понтона

дока разработана Методика обследования и оценки технического состояния железобетонного понтона.

В ходе разработки инструкций и методики, исходя из опыта освидетельствования железобетонных понтонов композитных доков с целью определения их технического состояния в результате длительной эксплуатации, специалисты столкнулись со следующими проблемами применения требований нормативно-технической документации ФАУ «РМРС» и ФАУ «РКО» к техническому освидетельствованию железобетонных конструкций [4, 5]:

- необходимость уточнения нормативной величины допустимой площади плиты с оголением арматуры и доли допустимого остаточного диаметра при коррозионном износе арматуры;
- отсутствие снижения прочностных характеристик бетона в перечне основных дефектов, подлежащих выявлению, и определение порядка проведения соответствующих неразрушающих инструментальных измерений при отсутствии указаний проектанта в эксплуатационной документации;
- выбор методов, средств и параметров обследования при определении прочности бетона, аналогичных требованиям инструкции ФАУ «РМРС» к проведению ультразвуковой дефектоскопии (УЗД) стальных корпусных конструкций;
- уточнение допустимых параметров трещинообразования (раскрытие до 0,10 мм) и целесообразности применения здесь норм части II «Выполнение расчетов и нормы прочности» Правил постройки корпусов... с применением железобетона с учетом крайне низкой выявляемости дефектов в балластных отсеках;
- определение допустимой толщины защитного слоя бетона при отсутствии конструкторской документации;
- выбор сертифицированной организации (лаборатории) для выполнения исследований.

При сравнении требований ФАУ «РКО» и ФАУ «РМРС» к определению технического состояния железобетонных корпусов (критериев оценки параметров дефектов) выявляются существенные отличия, в том числе:

- 1) отколы, выколы и выкрашивания: по правилам РС не допускается оставлять без их ремонта, РКО – допускается не более 10% от площади плиты с частичным оголением арматуры;

- 2) коррозионный износ арматуры: по правилам РС – стержни арматуры с износом, превышающим 30% ее проектного диаметра, должны быть демонтированы и заменены; РКО – до-

пускается частичное оголение арматуры на площади не более 20% площади плиты, но тогда техническое состояние железобетонного корпуса признается годным с ограничениями;

3) потеря прочности бетона: по правилам РС – остаточная прочность не может составлять менее 85% от первоначальной; РКО – нет критериев;

4) вспучивание бетона: по правилам РС – участки вспученного бетона при любых освидетельствованиях подлежат полному и срочному ремонту; РКО – нет критериев;

5) водотечность, фильтрация воды: по правилам РС – не допускается; РКО – допускаются отдельные темные пятна с сырой поверхностью с незначительной фильтрацией.

В связи с отмеченным возникает вопрос о целесообразности углубления унификации документации ФАУ «РМРС» и ФАУ «РКО» в части определения технического состояния железобетонных корпусов ПД с учетом условий их эксплуатации.

К числу основных предложений, поддержанных специалистами отрасли, можно отнести следующие:

- определить орган, формирующий единую техническую политику в области безопасной эксплуатации плавучих доков;
- актуализировать ведомственную нормативно-техническую документацию по безопасной эксплуатации плавучих доков;
- унифицировать (корреспондировать в необходимой части) нормативной документации ФАУ «РМРС» и ФАУ «РКО» в части определения техни-

ческого состояния железобетонных корпусов плавучих доков, находящихся в эксплуатации, рассмотреть возможность заимствования требований из НТД для гидротехнических сооружений;

- обратить внимание на недостаточную подготовку экипажей плавучих доков и отсутствие регулярных курсов повышения квалификации;
- классификационным обществам включить в ежегодный план разработки НИР создание программного продукта по расчету остаточной прочности композитных плавучих доков (в том числе с учетом отсутствия проектной документации);
- необходимость законодательного определения и принятия мер к собственникам судоподъемных сооружений, пренебрегающим поддержанием исправного технического состояния ПД (по результатам освидетельствований) с одновременным изменением требований 261-ФЗ от 24.06.2024 в части уточнения инвестиционной программы с обязательным распространением ее действия на судоподъемные сооружения;
- необходимость предания квалификационным обществам необходимых полномочий в части усиления контрольных и регулирующих функций. 20 февраля 2024 г. в АО «51 ЦКТИС» прошло заседание «круглого стола» секции «Техническая эксплуатация и судоремонт» РосНТО им. акад. А. Н. Крылова по проблемным вопросам освидетельствования и ремонта железобетонных конструкций композитных плавучих доков, где были рассмотрены в том чис-

ле вопросы текущего состояния докового хозяйства, пути решения назревших и перспективных проблем. В нем приняли участие руководители и специалисты более 25 организаций, в том числе ФАУ «РМРС» и ФАУ «РКО» [6].

По общему мнению участников «круглого стола», меры по поддержанию в работоспособном и безопасном состоянии ПД, находящихся в эксплуатации, должны позволить выиграть время, пока будет происходить проектирование и строительство новых современных ПД и тем самым решена назревшая острая проблема.

Необходимым представляется и включение в план работы РосНТО проведение в 2025 г. «круглого стола» с представлением информации о ходе выполнения указанных выше предложений в целях обмена мнениями и передовым опытом.

ЛИТЕРАТУРА

1. В поисках доков: Почему Россия не готова к грядущему наплыву судоремонтных заказов. – <https://paluba.media/news/53000>
2. Р 31.3.08–04. Ведомственное положение о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений на морском транспорте.
3. НД № 2–020101–012. Правила классификационных освидетельствований судов в эксплуатации/ФАУ «РМРС».
4. Правила освидетельствования судов в процессе эксплуатации (ПОСЭ)/ФАУ «РКО».
5. НД № 039901–005. Приложения к методическим рекомендациям по техническому наблюдению за ремонтом морских судов» ФАУ «РМРС».
6. <https://51cktis.ru/info/news/6742/>. ■



26 апреля в АО «Средне-Невский судостроительный завод» спущен на воду пассажирский катамаран «Форт Александр I» пр. 04580 «Котлин» для судоходной компании «Нева Тревел», который был заложен на СНСЗ в июне 2023 г. Это уже третье судно, строящееся согласно программе ГТЛК по развитию лизинга водного транспорта с государственным финансированием. Всего по договору с ГТЛК СНСЗ построит для компании «Нева Тревел» шесть пассажирских скоростных судов-катамаранов проекта «Котлин».

Новые пассажирские суда обеспечат бесперебойное сообщение между Петербургом и Кронштадтом, свяжут центр города со значимыми объектами Невской губы (Стрельна, Петергоф, Морской фасад, Ломоносов, Лахта, Горская). Также катамараны будут использоваться для перевозки туристов и гостей в музейно-исторический парк «Остров фортов» в Кронштадте.

Первые два катамарана – «Форт Кроншлот» и «Форт Петр I» – вышли на линию в 2023 г. По плану «Форт Александр I» и «Форт Тотлебен» – третье и четвертое по счету суда проекта – будут готовы для работы уже в этом году. По условиям контракта вторая пара катамаранов должна быть передана заказчику на навигацию 2024 г., третья – в мае 2025 г.



Пассажирский катамаран «Форт Александр I»

Проект судна разработан петербургским проектно-конструкторским бюро «Форс Технологии» с учетом особенностей эксплуатации в условиях акватории Петербурга и выхода в Финский залив. Катамараны смогут проходить под сводами петербургских мостов, обладают высокими скоростными и мореходными качествами. Максимальная скорость судна составляет около 57 км/ч, пассажироместимость – до 152 человек.

А 6 мая на СНСЗ спущены на воду еще два катамарана: головной экскурсионно-прогулочный катамаран «Бастион» пр. 04710 «Соммерс» и четвертый серийный скоростной катамаран пр. 04580 «Котлин», получивший имя «Форт Тотлебен».

В этот же день на заводе состоялась церемония подписания акта приема-передачи заказчику головного однопалубного экскурсионного теплохода

Катамаран «Форт Тотлебен»

«Сити Круиз-1» пр. 04240. Это первый однопалубный теплоход этого проекта. Два судна строятся в рамках лизинговой программы АО «Машпромлизинг» по контракту с АО «СНСЗ». Судно адаптировано к плаванию по малым рекам и каналам Санкт-Петербурга.

Как отметил руководитель группы компаний «Нева Тревел» Юрий На-

батов, «несмотря ни на какие сложности поставок или производственных процессов, мы продолжаем проектировать, строить и обновлять пассажирский флот Санкт-Петербурга во всех направлениях. В первую очередь для того, чтобы жители и гости нашего города имели возможность путешествовать на современных и комфортабель-



Пассажирский катамаран «Бастион»

СРЕДНЕ-НЕВСКИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД СТРОИТ ПАССАЖИРСКИЕ КАТАМАРАНЫ

*Пресс-центр АО «Средне-Невский судостроительный завод»,
контакт. тел. (812) 648 3050*

ных судах. После проведения ходовых испытаний и оформления необходимых разрешительных документов уже в этом сезоне пассажиры смогут оценить новые суда во время экскурсионных прогулок вокруг фортов Кронштадта, а также по малым рекам и каналам Петербурга».

Проекты «Котлин» и «Соммерс» были разработаны петербургским проектно-конструкторским бюро «Форс Технологии» по заказу ООО «Нева Тревел». Строительство судов ведется под надзором Российского морского регистра судоходства (РС).

АО «Средне-Невский судостроительный завод» – единственное в России предприятие, освоившее строительство кораблей и судов из четырех видов материалов: композитные материалы, судостроительная и маломанганная сталь, алюминий-магниево-сплавы. За 110 лет работы заводом построено более 600 кораблей и судов, из них более 200 единиц – это морские и рейдовые тральщики различных проектов, в том числе и поставленные на экспорт в 13 стран мира. С 1937 г. предприятие является монополистом в строительстве отечественных кораблей противоминной обороны. ■

Николай Михайлович Вихров родился 16 мая 1949 г. в Новгородской области, в селе Залучье Старо-Русского района. В 1971 г. окончил Ленинградский институт водного транспорта по специальности «Судовые машины и механизмы». По распределению приступил к работе на Канонерском судоремонтном заводе. После службы в Советской Армии продолжил трудиться на этом предприятии. С 1973 г. по 1986 г. работал слесарем, начальником участка, мастером цеха, начальником отдела труда и заработной платы, заместителем директора по кадрам и быту. Освоил профессию, приобрел огромный опыт судоремонта, проявил организаторские способности.

В 1987 г. Н. М. Вихров из числа заявленных претендентов решением конкурсной комиссии Балтийского морского пароходства был утвержден начальником базы технического обслуживания флота. В 1989 г. коллективом Канонерского судоремонтного завода был избран на должность директора завода, и вот уже 35 лет успешно возглавляет его коллектив численностью 560 человек.

В 1995 г. Николай Михайлович защитил кандидатскую диссертацию, в 2004 г. докторскую. С 2007 г. он – профессор кафедры судоремонта в ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. Преподает в СПбГМТУ и ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. Ведет большую работу по повышению престижа морских профессий, основанных на чести и благородстве, патриотизме и беззаветном служении Отечеству.

Имеет более 50 опубликованных работ, из них 18 учебно-методических публикаций.

С 2005 г. Н. М. Вихров входит в состав Коллегии Морского Совета при Правительстве Санкт-Петербурга.

Трудовая деятельность Н. М. Вихрова отмечена Министерством транспорта РФ нагрудными знаками «Почетный работник морского флота» (1986), «Почетный работник транспорта России» (1999). За большой вклад в укрепление морского потенциала России награжден орденами «За заслуги перед Отечеством» IV и III степени (2010, 2020), орденом Почета (1996), юбилейными медалями «300 лет Российскому флоту» (1996), «В память 300-летия Санкт-Петербурга» (2003).

В 2000 г. ему присвоено почетное звание заслуженного работника транспорта Российской Федерации.

Сегодня под управлением Николая Михайловича завод продолжает укреплять свои позиции на рынке судоремонта. За последние годы предприятие осуществило несколько доковых ремонтов атомного лихтеровоза «Севморпуть», доко-

Н.М. ВИХРОВУ - 75 ЛЕТ

*Российское НТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова,
контакт.тел. (812) 710 4011*



вание крупнотоннажных арктических танкеров длиной 249 м, шириной 34 м, дедвейтом 41 420 т и продолжает ремонтировать суда схожих размерений, принадлежащих компаниям «Газпромнефть Шиппинг» и «Совкомфлот».

Н. М. Вихров принимает активное участие в жизни Санкт-Петербурга, поддерживает тесную связь с муниципальным образованием МО «Морские ворота» и оказывает финансовую помощь при проведении общественных мероприятий для жителей Канонерского острова и Кировского района. Каждый год ко Дню Победы завод чествует ветеранов и блокадников – бывших работников предприятия, оказывает им материальную помощь. С 2022 г. регулярно оказывает гуманитарную помощь военнослужащим, войсковым частям Министерства обороны РФ, находящимся в зоне проведения СВО и в Крыму.

Центральное правление Российского научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, друзья и коллеги сердечно поздравляют Николая Михайловича с 75-летием и желают ему доброго здоровья и дальнейших успехов на благо Отечества.

Редсовет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают юбиляру благополучия и успехов в работе. ■



ВМФ РФ с распадом СССР лишился самостоятельной базы корабельного газотурбинного машиностроения – Южного турбинного завода «Зоря» вместе со специальным конструкторским бюро «Машпроект», располагавшихся в г. Николаев (Украина). Появились значительные трудности во взаимодействии предприятий при поставке техники и сервисном обслуживании действующих кораблей в Российской Федерации.

Осознание необходимости сохранения широкой кооперации, сформированной в СССР к 90-м гг., и организации сотрудничества предприятий России и Украины в новых экономических и политических условиях привело к оформлению в 1993 г. соответствующего межправительственного соглашения, на основании которого было образовано ЗАО «Турборус». В него от России вошли Рыбинское конструкторское бюро моторостроения (в настоящее время – ОАО «НПО «Сатурн»), Концерн НПО «Аврора» и ООО «Турбокон», а со стороны Украины – НПП «Машпроект» и ПО «Зоря» (ныне – ГП НПКГ «Зоря-Машпроект»).

Поэтому с начала 1992 г. по 2005 г. были приложены значительные усилия для создания отечественной базы корабельного газотурбинного машиностроения на основе ОАО «Рыбинские моторы» и специального конструкторского бюро авиационной техники «Сатурн». Так было создано НПО «Сатурн» в Рыбинске по разработке и производству корабельных газотурбинных двигателей (ГТД).

На НПО «Сатурн» (сейчас – ПАО «ОДК-Сатурн») совершенно обоснованно были развернуты соответствующие научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Так, в период 2006–2008 гг. по заказу Министерства обороны на предприятии были успешно созданы отечественные морские ГТД: М75РУ мощностью 5000 кВт и М70ФРУ мощностью 10000 кВт (рис. 1)

На тот момент дальнейшего развития эти двигатели не получили, и серийных поставок ГТД для кораблей ВМФ не было, хотя продолжали существовать устойчивые многолетние кооперационные связи ЦКБ-проектантов кораблей с предприятием «Зоря-Машпроект», которое было изначально определено как советская база морского газотурбинного машиностроения.

Конструкторские бюро – проектанты кораблей, исходя из своего опыта и наработанных связей, продолжали сотрудничество с «Зоря-Машпроект». Необходимо также отметить, что в отличие от НПО «Сатурн», который готов был поставлять только ГТД, «Зоря-Машпроект» поставляла газотурбинный агрегат (ГТА) в целом (т.е. ГТД с редуктором собственного производства), что для проектантов кораблей являлось существенным преимуществом. До 2014 г. сложившаяся еще в Советском Союзе система кооперационных связей продолжала успешно работать, пока не наступили известные политические события. С этого момента все связи были практически разрушены, что привело к отказу от поставок ГТА для строящихся и перспективных кораблей ВМФ со стороны Украины. Показательным примером является отказ в поставке корабельных ГТА на три из шести строящихся на АО «ПСЗ «Янтарь» фрегатов пр. «Буревестник», головной корабль «Адмирал Григорович».

В 2014 г. был дан старт второму этапу программы по разработке и освоению изготовления морских ГТД и ГТА в ПАО «ОДК-Сатурн». В конце того года предприятие приступило к параллельной одновременной разработке:

АНАЛИЗ РИСКОВ И УГРОЗ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ КОРАБЕЛЬНОГО ГАЗОТУРБОСТРОЕНИЯ ИЗ-ЗА ОТСУТСТВИЯ СЕРИЙНЫХ ПОСТАВОК ОСВОЕННЫХ ПАО «ОДК-САТУРН» ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

К.Г. Голубев, д-р техн. наук, ген. директор,
В.В. Барановский, д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора по энергетическим установкам, судовым системам и устройствам,
И.А. Иващенко, д-р воен. наук, зам. ген. директора по общим вопросам,
АО «ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 373 2800, office@almaz-kb.ru

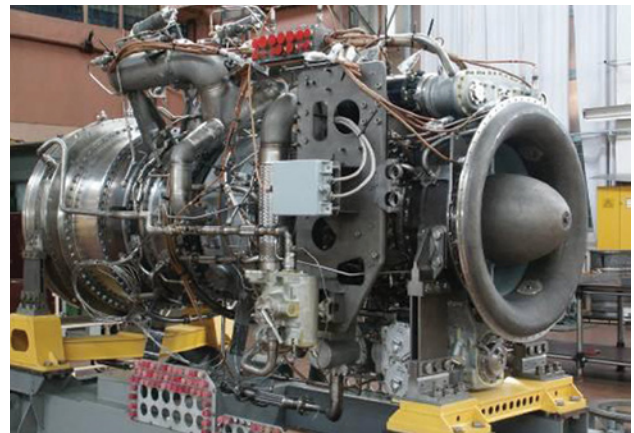


Рис. 1. Морские газотурбинные двигатели М75РУ и М70ФРУ

- технологии серийного изготовления двигателя М90ФР мощностью 20000 кВт для применения в составе ГТА водоизмещающих кораблей (рис. 2);
- ГТА с ГТД М70ФРУ-2 (с выводом вала турбины винта вперед) для кораблей на воздушной подушке (рис. 3);
- реверсивного ГТД М70ФРУ-Р для водоизмещающих кораблей [1–3].

На основе имеющегося научно-технического задела по базовому ГТД М70ФРУ за три года ПАО «ОДК-Сатурн» создало новые модификации двигателей и агрегатов, которые позволяют полностью заменить украинские силовые установки для кораблей на воздушной подушке. ГТД М70ФРУ-реверс (рис. 4) является заменой украинских двигателей

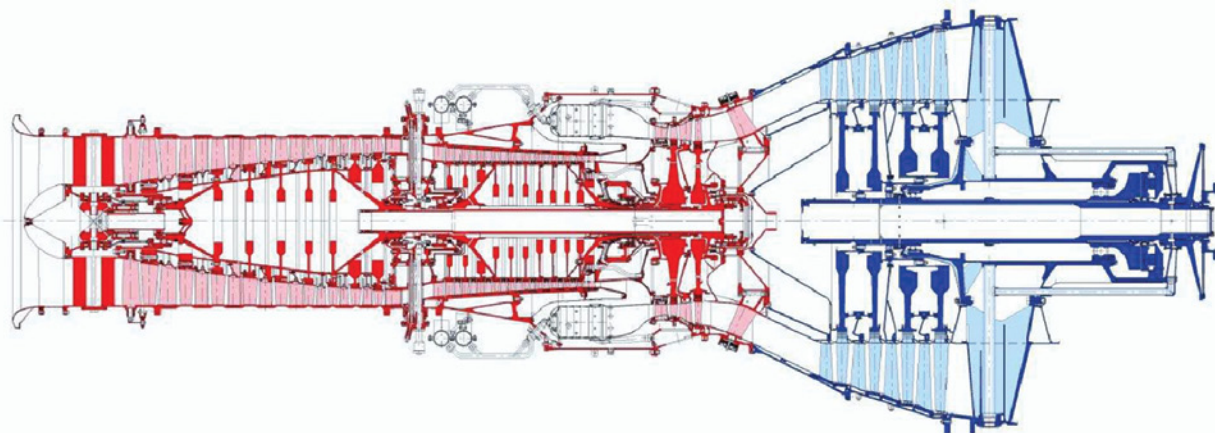


Рис. 2. Морской газотурбинный двигатель М90ФР
(красным выделены элементы ГТД, документацию и технологию изготовления которых ПАО «ОДК-Сатурн» приходилось осваивать в кратчайшие сроки практически «с нуля»)

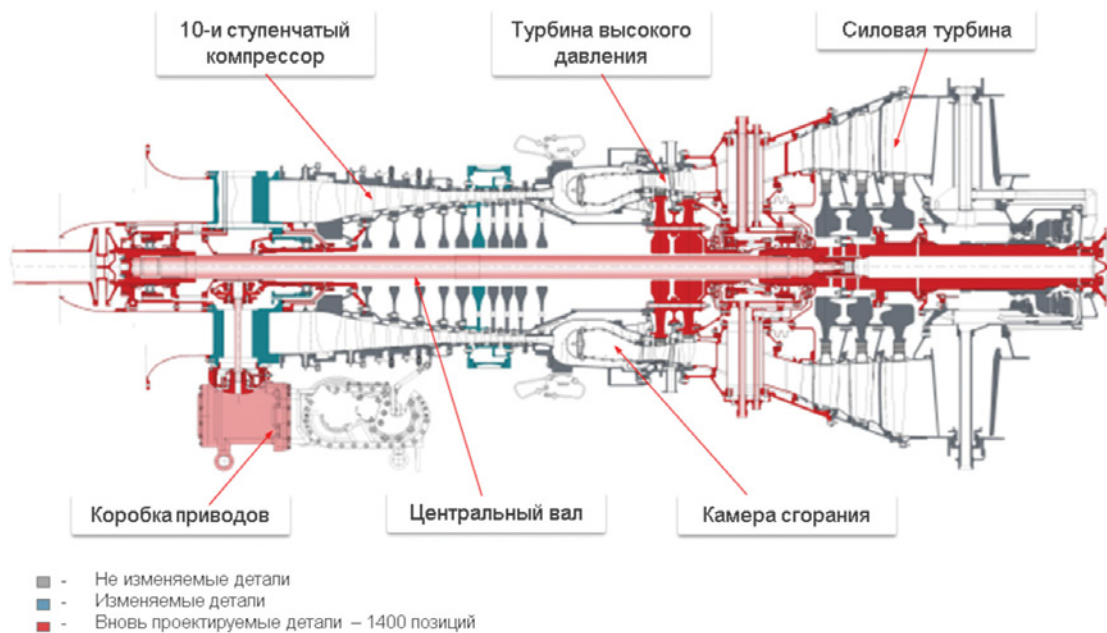


Рис. 3. Морской газотурбинный двигатель М70ФРУ-2

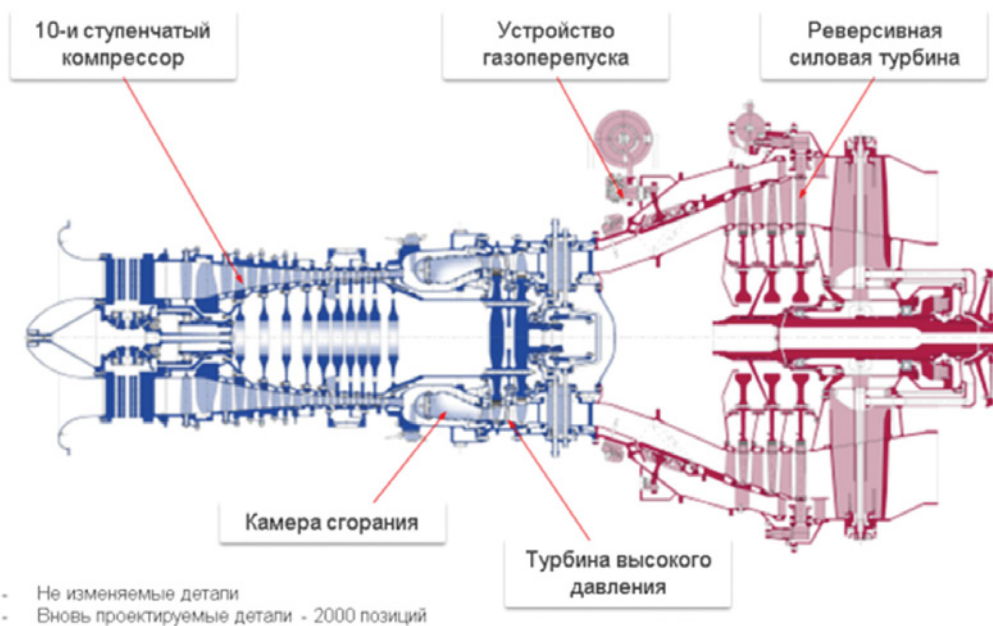


Рис. 4. Морской (реверсивный) газотурбинный двигатель М70ФРУ-Р

ДО63 и ДС71, используемых на надводных кораблях в качестве маршевых двигателей.

Освоение в серийном производстве ГТД М90ФР мощностью 20 000 кВт позволяет обеспечить главными энергетическими установками потенциальных заказчиков и создавать агрегаты для перспективных кораблей [2, 3].

На начало таких работ в России отсутствовала специализированная стендовая база для проведения испытаний морских ГТД и агрегатов. Поэтому параллельно на ПАО «ОДК-Сатурн» реализовывался проект нового сборочно-испытательного комплекса для корабельных ГТД и ГТА мощностью до 40 МВт (стенд 1) и 15 МВт (стенд 2). За три года на предприятии были выполнены не только работы по созданию двигателей М90ФР, М70ФРУ-2 и М7ФРУ-Р, но и проведены техническое перевооружение и технологическая подготовка производства, построена и модернизирована стендовая база для испытаний морских двигателей и агрегатов (рис. 5).



Рис. 5. Сборочно-испытательный комплекс «ПАО «ОДК-Сатурн»

К настоящему времени в России на ПАО «ОДК-Сатурн» создана линейка из пяти морских ГТД мощностью от 5000 до 20 000 кВт: М75РУ, М70ФРУ, М70ФРУ-2, М70ФРУ-Р и М90ФР, которая в краткосрочной и среднесрочной перспективе закрывает потребности флота в ГТД для всех эксплуатирующихся, строящихся и перспективных кораблей различных классов.

Кроме того, «ОДК-Сатурн» был разработан морской унифицированный энергомодуль на базе ранее созданного российского морского ГТД 4-го поколения М70ФРУ мощностью 10 МВт для перспективных скоростных судов [1], на базе которого создан морской (судовой) газотурбогенератор СГТГ-8 мощностью 8 МВт (рис. 6) для работы в составе единых электроэнергетических систем с полным электродвижением.

Газотурбогенератор представляет собой компактный агрегат, по массе и габаритам существенно меньший судовых дизель-генераторов аналогичной мощности. Он успешно прошел государственные испытания, данная технология универсальна и может быть применена для корабельных (судовых) агрегатов с частичным или полным электродвижением мощностью 20 МВт и более.

В качестве привода электрогенератора используется морской ГТД Е70/8 РД (одновальный, двухтопливный со свобод-

ной силовой турбиной, который работает на жидком и газообразном топливах (см. рис. 6).

В основе морских двигателей ПАО «ОДК-Сатурн» лежат базовые газогенераторы собственной разработки. Это так называемая «горячая часть» двигателя, которая определяет его основные характеристики: ресурс и удельный расход топлива. Топливная эффективность таких ГТД выше до 5%, а ресурс некоторых моделей двигателей в два раза выше, чем двигателей украинского производства.

Добиваться таких результатов позволяет более чем 75-летний опыт предприятия в области проектирования. Сегодня ПАО «ОДК-Сатурн» обладает всеми современными технологиями проектирования: разработка цифровых трехмерных геометрических моделей и электронных чертежей, численное моделирование сложных аэро- и газодинамических процессов, гидравлики, теплообмена и прочности. В совокупности с современным технологическим оборудованием и станочным парком, уникальной

стендовой базой предприятие может проектировать самые современные двигатели и агрегаты на их основе.

В ПАО «ОДК-Сатурн» ведутся работы по формированию научно-технического задела, необходимого для создания морских ГТД 5-го поколения [4].

Все вышеизложенное свидетельствует о том, что на протяжении трех последних десятилетий была проделана огромная работа Правительством РФ и предприятиями авиационного машиностроения по воссозданию базы корабельного газотурбостроения на территории России. При этом были затрачены значительные материальные, денежные и временные ресурсы для достижения поставленной цели. Все это в совокупности позволило «ОДК-Сатурн» разработать мощностной ряд корабельных ГТД 4-го поколения, по своим технико-экономическим показателям не уступающих зарубежным аналогам (см. таблицу).

Таким образом, у потенциальных заказчиков появилась возможность модернизировать газотурбинные энергетические установки (ГТЭУ) существующих кораблей ВМФ и создавать современные ГТЭУ боевых кораблей различных классов.

Однако, невзирая на определенный позитив в части достижений отечественного корабельного газотурбостроения, «почивать на лаврах» пока рано в силу определенного рода

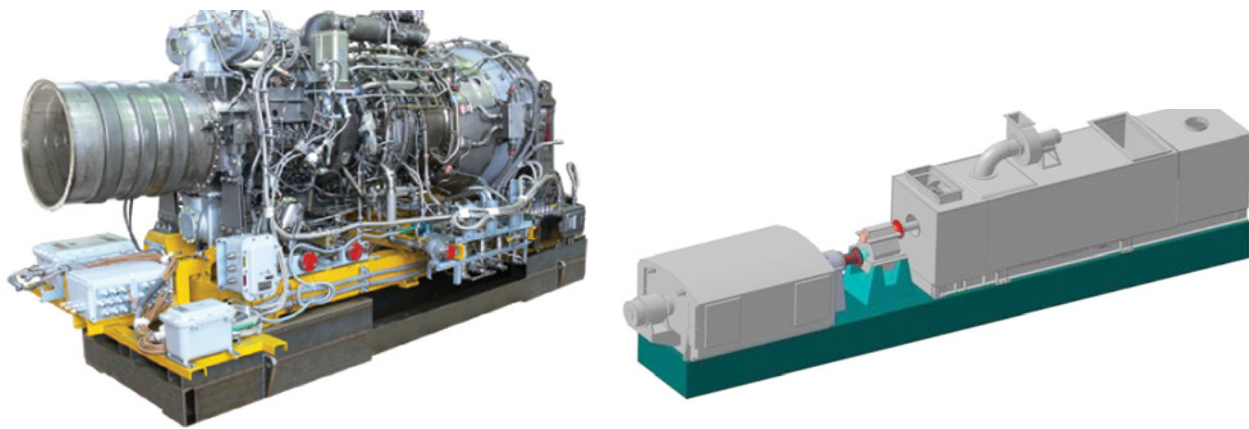


Рис. 6. Морской газотурбинный двигатель E70/8 РД и газотурбогенератор СГТГ-8

Таблица 1

Сравнительные характеристики отечественных и зарубежных ГТД

Характеристика	Марка ГТД								
	M75PY	M75	LM500	571KF	M70ФРУ	M70	M90ФР	LM1600	SM1A
Страна-производитель	Россия	Украина	США	США	Россия	Украина	Россия	США	Англия
Фирма	ПАО «ОДК-Сатурн»	НПП «Машпроект»	GE	Ellison	ПАО «ОДК-Сатурн»	НПП «Машпроект»	ПАО «ОДК-Сатурн»	GE	RR
Мощность макс, л.с.	7000	5326	6085	8300	14 000	12 000	27 500	20 000	18 800
Масса ГТД, кг	2250	1540	905	807	2840	2000	14 320	3026	15 960
Удельный расход топлива, кг/(л.с.×ч)	0,188	0,19	0,198	0,183	0,17	0,18	0,17	0,168	0,18
Габаритные размеры, мм:									
– длина	2560	2300	2134	1872	2580	3300	3125	4886	7470
– ширина	1200	1400	914	984	1270	980	1470	2032	2290
– высота	1320	1500	984	2134	1340	1500	1500	2032	3350

складывающихся обстоятельств. Дело в том, что надежное функционирование любого промышленного предприятия невозможно без устойчивого потока заказов на производимое им оборудование. В нашем случае потенциальными заказчиками могут быть либо ВМФ, либо Береговая охрана ФСБ России, в какой-то мере МЧС России. ГТД для морского или речного флота уступают дизельным двигателям по экономичности, выбросам оксидов азота и др., поэтому они повсеместно не могут быть востребованы. Понятно, что обеспечить поток заказов для ВМФ и Береговой охраны ФСБ России, соизмеримый с заказами авиационной техники, невозможно. Но в целях недопущения деградации данного направления отрасли или вовсе его закрытия и переориентации на выпуск гражданской продукции, как следует из общения с заместителем генерального директора – управляющим директором ПАО «ОДК-Сатурн» В. А. Поляковым, необходимо обеспечить хотя бы минимальный объем заказов – не менее 10 ГТД в год.

Для примера, за последние 10 лет для нужд ВМФ у ПАО «ОДК-Сатурн» было заказано не более 10 ГТД в составе агрегатов М55Р для фрегатов и агрегата МАЗ для корвета, т. е. в 10 раз меньше самого минимального объема. Понятно, что подобная система заказов приведет корабельное газотурбостроение в упадок уже в самое ближайшее время, так как станочный парк и оборудование будут переориентированы на выпуск аналогичной продукции гражданского назначения и утеряны контрагентские связи с предприятиями металлургии, локальные системы управления, диагностики, топливной аппаратуры и т. п.

Уповать на выпуск схожих изделий двойного назначения, как, например, ГТД для газоперекачивающих агрегатов для нужд ПАО «Газпром» или ПАО «НК «Роснефть»,

также не приходится, поскольку при схожести технологий производственного процесса в корабельных ГТД используются принципиально иные жаропрочные материалы, устойчивые к наличию в потоках рабочего тела солей морской воды и иная система автоматики.

Одним из основных посылов написания данной статьи является необходимость доведения складывающейся ситуации до федеральных органов исполнительной власти в лице Минпромторга и Министерства обороны России, до главного командования ВМФ, а также до проектно-конструкторских бюро, работающих в интересах ВМФ. Осознание проблемы и принятие кардинальных решений по недопущению утраты важнейшей составной отрасли корабельного газотурбостроения, по мнению авторов, является важнейшей задачей на ближайшую и среднесрочную перспективу.

В конструкторских бюро также следует переосмыслить устоявшиеся стереотипы при формировании облика ЭУ перспективных кораблей, где не находится место ГТД. На подавляющем большинстве боевых кораблей и катеров относительно небольшого водоизмещения, спроектированных в начале XXI столетия по настоящее время, в составе главной энергетической установки использованы дизельные двигатели ведущих зарубежных фирм и отечественные в силу их преимущества по экономичности. Очевидно, что при сложившейся санкционной политике, проводимой западными государствами в отношении России, образовавшуюся нишу высокооборотных и среднеоборотных судовых дизелей зарубежных производителей без труда могут заменить ГТД производства ПАО «ОДК-Сатурн». Так, например, совместные проработки АО «ЦМКБ «Алмаз» с ПАО «ОДК-Сатурн» по созданию газотурбинного агрегата МА8 (рис. 7) позволяют его применять в составе ЭУ

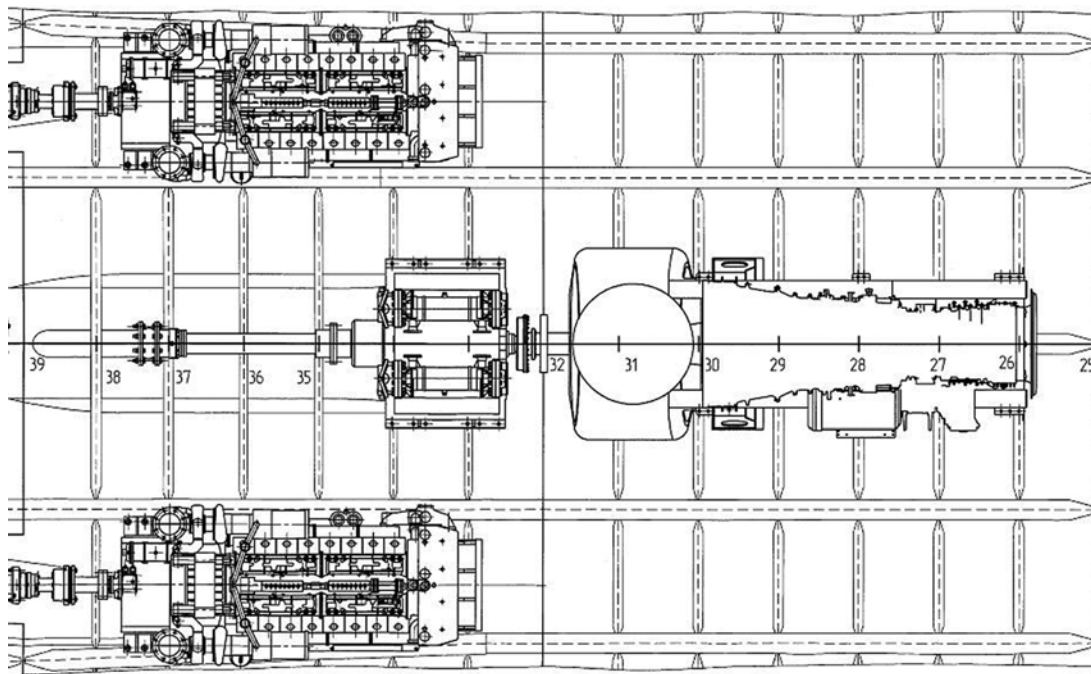


Рис. 7. Использование газотурбинного агрегата МА8 в составе ЭУ быстроходного катера

быстроходных катеров водоизмещением от 100 т и более в качестве замены зарубежных легких высокооборотных дизелей, которые предполагалось использовать в составе ЭУ изначально. При этом скорость полного хода катера существенно возрастает более чем на 10 уз.

Обеспечение высоких скоростей полного хода – не ниже 30 уз – перспективных боевых надводных кораблей и катеров также должно стать неотъемлемым постулатом при формировании технического задания государственным заказчиком для КБ-проектантов.

Недавний инцидент (23–24 июня 2021 г.) прохода у побережья Крымского полуострова британского эсминца «Дефендер» по 12-мильной зоне, который российский корабль прибрежной зоны не только не смог вытеснить из территориальных вод, но и отстал от него, когда тот увеличил скорость до 30 уз, только подтверждает мысль о том, что российские корабли не должны уступать по скорости хода западным аналогам. Во времена СССР такое условие неукоснительно выполнялось.

Проводимые исследования свидетельствуют о том, что обеспечение высоких скоростей полного хода (30 уз и более) для кораблей классов корвет, фрегат и эсминец невозможно без использования в составе главных энергетических установок (ГЭУ) газотурбинных двигателей. Например, при формировании облика ГЭУ кораблей класса корвет за счет даже лучших мировых дизельных двигателей (высоко- или среднеоборотных) скорость полного хода корабля не превысит 24–26 уз, что является пределом насыщения для дизельной ГЭУ. Для увеличения скорости хода до 30 уз потребуется увеличить валовую мощность более чем в 2 раза, что невозможно при использовании только лишь дизельных двигателей.

Приведенные выше примеры свидетельствуют о том, что потенциал применения ГТД в составе корабельных энергетических установок весьма широкий.

Опыт специальной военной операции также свидетельствует о том, что новые виды оружия и вооружения, а также способы их использования уже в ближайшей перспективе могут способствовать пересмотру устоявшихся стереотипов о способах ведения войны и, как следствие, насыщения

перспективных боевых кораблей и кораблей, проходящих модернизацию, имеющимися вооружением и военной техникой (ВВТ). Придание таким кораблям высоких скоростных и маневренных характеристик должно стать побудительным мотивом для командования ВМФ и главных конструкторов с целью широкого использования в составе ЭУ ГТД, что позволит сохранить тем самым высокотехнологическую отрасль морского газотурбостроения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Невзирая на колоссальные усилия, прилагаемые Правительством РФ по возрождению отечественного корабельного газотурбостроения и значительные достижения в этой области ПАО «ОДК-Сатурн», которое разработало мощностной ряд морских ГТД 4-го поколения, позволяющий модернизировать ГТЭУ существующих кораблей ВМФ и создавать современные ГТЭУ боевых кораблей различных типов, отсутствие устойчивой системы заказов на освоенные в производстве изделия может привести к упадку или даже к утрате данной отрасли.

Осознание причин возникновения и проявления таких рисков прежде всего Минпромторгом и Министерством обороны России, а также главным командованием ВМФ и КБ-проектантами и своевременное принятие мер по организации устойчивой системы заказов морских ГТД позволит сохранить корабельное газотурбостроение в России, без которого невозможно существование и развитие надводных сил ВМФ в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Из отчета НПО «Сатурн» за 2014 год. Приоритетные программы. ГТД морского применения. – <http://alexeyvvo.livejournal.com/123859.html>.
2. Чутин П. В. Российский газотурбинный двигатель М90ФР: Доклад на секции НТО им. А. Н. Крылова 21.03.2018 г., СПб., 2018.
3. Чутин П. В. Результаты работы по импортозамещению украинских морских ГТД: Доклад на межотраслевой науч.-практ. конф. «ВОКОР-2018», ВУНЦ ВМФ «НИИ КиВ», СПб., 2018.
4. ОДК формирует научно-технический задел для создания морских двигателей 5-го поколения. – Интернет-ресурс: <https://www.aviaport.ru/digest/2018/03/01/529125.html> ■

Масштабный сектор судостроения для нужд Министерства обороны РФ занимает проектирование подводных лодок с ядерными энергетическими установками (ЯЭУ). Отсчет своей летописи подводный флот ведет с 19 марта 1906 г., когда вышел указ «О классификации военных судов Российского императорского флота», и на сегодняшний день уже ведутся полномасштабные работы над созданием 5-го поколения подводных лодок с ЯЭУ.

Значительный технологический прогресс, повышение степени автоматизации и внедрение современных технологий в конструкторских бюро увеличивает количество бизнес-процессов при таком сложном и многофакторном процессе, как проектирование ЯЭУ, что, безусловно, влечет за собой поиск новых решений для его контроля и повышения качества.

В настоящее время выявлен ряд недостатков процесса проектирования ЯЭУ, которые можно устранить, применив системный подход. Практика системных исследований, широко проводимых в настоящее время, показывает, что подобный подход имеет самое непосредственное отношение к обеспечению правильной постановки научных проблем [1].

Системный подход направлен на разработку специфических познавательных средств, отвечающих задачам любого исследования и конструирования сложных объектов. ЯЭУ – сложный и многорежимный объект, процесс проектирования и проведения испытаний которого – это масштабные этапы

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ ВНЕСЕНИИ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЯЭУ ДЛЯ ПОДВОДНОГО ФЛОТА

Ю.С. Самычко, канд. техн. наук, вед. инженер отделения ЭУ и СУ ЭУ, АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 1504

жизненного цикла, поэтому системный подход – наиболее подходящий метод проведения исследований в данной области [2].

Исходным пунктом всякого системного исследования является представление о целостности изучаемой системы. Это понятие играет при научном познании роль прежде всего фактора, ориентирующего исследователя при постановке проблемы и выработке стратегии исследования. Именно системный подход позволит масштабно и комплексно рассмотреть проблемы сложного процесса проектирования ЯЭУ, а также его недостатки и предпринять попытку их устранения. В системном подходе основной акцент делается на выявление многообразия связей и отношений, имеющих место как внутри исследуемого объекта, так и в его взаимоотношениях с внешней средой. Идеология проектирования корабельных ЯЭУ должна формироваться на основе использования системного подхода к построению, для которого характерно применение как

апробированных многолетней практикой технических решений, так и новых принципов проектирования [3]. С точки зрения системного подхода мы рассматриваем ЯЭУ как часть одной большой системы – корабля в целом.

Важнейшие процессы технического проекта делятся на три важных подзадачи: финансовые, технические и сроки. С точки зрения системного подхода необходимо рассмотреть следующие важнейшие бизнес-процессы в ходе проектирования ЯЭУ, установить категории задач и их взаимосвязь (рис. 1):

- предконтрактная подготовка;
- контроль выполнения контракта;
- формирование технических заданий (ТЗ) на составные части (СЧ) ЯЭУ;
- контроль выполнения требований ТЗ;
- контроль выполнения требования ядерной радиационной безопасности (ЯРБ);
- проектирование систем, важных для безопасности (СВБ);
- выпуск собственной документации;



Рис. 1. Категорирование задач

- анализ контрагентской документации;
- обеспечение выдачи данных подразделениям.

Ниже представлены важнейшие бизнес-процессы, выявленные недостатки и возможности их устранения.

ПРЕДКОНТРАКТНАЯ ПОДГОТОВКА

Зачастую исполнители для разработки составных частей ЯЭУ определяются, как единственные поставщики вследствие монополистической политики в данной области. Процедура предконтрактной подготовки в зависимости от данного факта не меняется, но процесс заключения контракта затягивается. Следует, имея ввиду особенности конкретного вида разработок, процедуру обоснования единственного исполнителя работ вести параллельно с формированием и рассылкой контракта, что сократит сроки предконтрактной подготовки.

КОНТРОЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ УСЛОВИЙ КОНТРАКТА

Контракт представляет собой насыщенную текстовую основу со множеством ссылок на различные документы, сроки и условия различного характера. Можно выделить финансовую и техническую части, за которые в равной степени отвечает ответственный по этому контракту от финансового и технического подразделений. Для упрощения процедуры контроля выполнения условий контракта необходимо разработать две матрицы (техническую и финансовую), в которых будут указаны основные контрольные точки со сроками выполнения и необходимые документы, разрабатываемые в ходе работ. Данный подход позволит структурировать текст контракта и не допустить просрочки выполнения важнейших этапов.

ФОРМИРОВАНИЕ ТЗ НА СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ЯЭУ И КОНТРОЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ИХ ТРЕБОВАНИЙ

Технические задания на составные части ЯЭУ, как и на любые другие сложные изделия, представляют собой тексты с перечислением их характеристик, а также с указанием множества документов, необходимых для разработки, которые перечислены в основном тексте и в специализированных разделах. Для полноценного контроля предлагается разрабатывать так называемые чек-листы, в которых отдельно будут указаны необходимые свойства и характеристики изделия, а также перечислены документы, необходимые для его разработки. Данное решение позволит структурировать текстовый формат ТЗ и не пропустить важнейшие детали и документы.

КОНТРОЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ЯРБ

Одной из главных задач при создании изделий ЯЭУ является обеспечение ядерной и радиационной безопасности. К ядерным энергетическим установкам предъявляются высокие требования к соответствию важнейшим документам отрасли – ОПБ-К-98/05 и ПБЯ-В.08-88/05. Эти требования в основном относятся к этапу проектирования, где закладываются тактико-технические характеристики изделия. Что же касается и их качественного анализа, то этот процесс несовершенен и должен начинаться еще при разработке таких важнейших документов, как техническое обоснование (ТОБ) реакторной установки (РУ) и ЯЭУ, что является завершающим процессом на этапе технического проектирования РУ и корабля в целом. В ТЗ прописана, зачастую одной фразой, необходимость соблюдения требований нормативной документации (НД) по ЯРБ. С этой целью важна детальная проработка НД по ЯРБ и предоставление отчета о выполнении каждого пункта этих документов в пояснительных записках к техническому проекту до начала разработки ТОБ РУ. Данное предложение позволит заранее предусмотреть возможные отступления от проекта или решить возникшие проблемы заранее.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВБ

Существует множество критериев, которым должны соответствовать СВБ. Проектировщики данных систем должны заранее, до разработки своих систем, получать от разработчиков ЯЭУ ТЗ на свои системы, в данный же момент наблюдается обратная ситуация: разработчики СВБ пытаются обосновать с точки зрения ЯРБ уже готовые и апробированные системы.

ВЫПУСК СОБСТВЕННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ И ВЫДАЧА ДАННЫХ СМЕЖНЫМ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМ

Подобные бизнес-процессы всегда осложняются тем, что зависят от данных разработчиков составных частей ЯЭУ или других изделий. Для решения и планирования этого процесса необходимо внедрение системы управления процессом проектирования [6] или, в качестве начальной меры, разработка матрицы каждого документа, что в будущем поможет создать базу данных для создания системы управления процессом проектирования.

АНАЛИЗ КОНТРАГЕНТСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Недостатком данного процесса является то, что он абсолютно не стандарти-

зирован. Огромное количество различной документации поступает исполнителю, и сложно понять, как именно с ней поступить и как ее рассматривать. Для устранения данного недостатка следует:

- выявить документацию, которая прислана для использования в работе, а не для согласования;
- выявить документацию, которая необходима для рассмотрения в отдельных подразделениях и службах, затем распределить ее между службами (патентная служба, служба эргономического и метрологического обеспечения, качества и т.д.);
- распределить документацию, которая необходима нескольким подразделениям одновременно и также обязательно собрать замечания в своем подразделении.

Указанная последовательность действий позволит быстрее и лучше разобратся с контрагентской документацией и не упустить из виду важные замечания.

ВЫВОДЫ

Проектирование ЯЭУ в целом и ее составных частей – очень сложный процесс, в котором постоянно будут выявляться недостатки и предприниматься попытки их устранить. Считаю, что наиболее эффективным способом их устранения является системный подход, так как он позволяет комплексно изучить процесс как единое целое, а также детализировать сложную проблему и структурировать ее в серию задач, которые решаются с помощью различных методов и подходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев И.Д. О методах научного познания – М.: Наука, 1964.
2. Огурцов А.П., Юдин Б.Г. Системный подход и принцип деятельности. Методологические проблемы современной науки – М.: Наука, 1978.
3. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. Словарь системы основных понятий – М.: Либроком, 2013.
4. Гусев Л.Б., Сальников Е.В., Самычко Ю.С. Анализ процесса создания корабельных ЯЭУ. – Мат-лы межотраслевой науч.-техн. конфер. «Корабельная ядерная энергетика–2022». – Н. Новгород: Издво «ОКБМ Африкантов», 2022.
5. Гусев Л.Б., Самычко Ю.С. Проблематика разработки составных частей корабельных ЯЭУ на этапе технического проекта. – Науч.-техн.конфер. «Актуальные проблемы военной науки и политехнического образования в ВВМИУ». – Сборник мат-лов. 2021. – №4 (48). – Ч. 3. – СПб.: ВМПИ, 2021.
6. Гусев Л.Б., Самычко Ю.С. Интеллектуальная система управления процессом проектирования ядерных энергетических установок. – Мат-лы конференций АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» УМС–2022, 2022. ■

Аdditивные технологии прочно вошли в производственные цепочки крупнейших предприятий газотурбостроения – ПАО «ОДК-Сатурн», ОАО «Климов», АО «Авиадвигатель» и др. Количество деталей, изготавливаемых новым методом, постоянно растет, также постоянно расширяются области их применения. В ПАО «ОДК-Сатурн» получены материалы собственной разработки для применения в авиационных и морских ГТД и ГТУ.

В ПАО «ОДК-Сатурн» аддитивными технологиями занимаются с 2015 г., в то время работали с зарубежными металлопорошковыми композициями (CobaltChrome MP1, StainlessSteel PH1, Ti6Al4V и др.), а с 2017 г. были начаты разработка и паспортизация отечественных металлопорошковых композиций для импортозамещения зарубежных материалов.

Основные преимущества аддитивных технологий – это снижение массы и площади поверхности деталей благодаря применению топологической оптимизации и учету фактических напряжений, следствием чего стало снижение затрат при производстве за счет уменьшения трудоемкости.

Один из ярких примеров этого – изготовление завихрителя топливовоздушной смеси (рис. 1). Применение аддитивных технологий позволило снизить трудоемкость в данном случае на 237 часов, а дополнительным эффектом было получение максимально идентичных деталей, что позволило достичь минимального разброса характеристик (рис. 2).

К 2019 г. были разработаны отечественные порошки нержавеющей стали ПС-Х15Н5Д4Б и сплава ПС-КХМ для селективного лазерного сплавления, а также порошок на титановой основе, сплава ВТ6 для применения в селективном электронно-лучевом сплавлении.

Данные материалы находят все большее применение на производстве, и, ког-

НОВЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА РАЗРАБОТКИ ПАО «ОДК-САТУРН» И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ГТД МОРСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И.И. Хрящев, канд. техн. наук, вед. инженер-технолог,

Д.В. Данилов, канд. техн. наук, эксперт,

Е.А. Ширяев, зам. гл. металлурга опытного завода по новым материалам, ПАО «ОДК-Сатурн»,

контакт. тел. +7 (961) 155 4432, ilya.hryashev@uec-saturn.ru



Рис. 2. Расход через завихрители, изготовленные по разным технологиям

да возникла необходимость их применения в морских условиях, проведена научно-исследовательская работа совместно с НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», в результате которой материалы Х15Н5Д4Б и КХ28М6 внесены в перечень «Материалы, покрытия и припои, разрешенные для применения в ГТД морского назначения».

Каждый год номенклатура деталей, изготавливаемых аддитивными методами, неуклонно растет. Детали применяются в различном оборудовании

– компрессоре, камере сгорания, турбине. Стала проявляться потребность в деталях из никелевых сплавов, также предстояло расширить применение титанового сплава ВТ6.

Для повышения производительности изготовления деталей из сплава ВТ6 был разработан вариант материала для применения его в селективном лазерном сплавлении, что позволило увеличить количество оборудования, задействованного в производстве деталей из ВТ6.

В качестве первого в освоении никелевого сплава для аддитивных технологий был выбран широко известный и достаточно доступный сплав Inconel 718. Доступность этого сплава способствует достаточно высокому уровню его изученности. Нередко он используется в качестве модельного сплава при изучении вопросов металлургии и новых технологических процессов, что способствует постоянно увеличению информации о нем, доступной в открытых источниках. Благодаря этому за рубежом он стал одним из первых никелевых жаропрочных сплавов, который применяется в аддитивном производстве.

Таким образом, использование сплава In718 в качестве прототипа для отечественного МПК является логичным, так как достаточно будет разработать только материал, технологические па-



Рис. 1. Стандартный и аддитивный технологические процессы изготовления завихрителя

раметры построения деталей из нового порошка в этом случае останутся аналогичными заложенным в оборудование для сплава In718, а высокая его изученность позволит ускорить процессы его освоения.

Итогом работ 2020–2023 гг. стали разработка технических условий на порошковые сплавы ВТ6 и ХН55МЗБ5ТЮ, а также технологии их применения в лазерном сплавлении, в том числе селективном, и в термической обработке, общая квалификация (паспортизация) данных материалов и составление перечня их механических и физических свойств, часть которых представлена в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1
Жаростойкость сплавов на никелевой и кобальтовой основах, применяемых в аддитивном производстве ПАО «ОДК-Сатурн»

Жаростойкость сплава при 100 ч, г/м ²		
Температура, °С	КХ28М6	ХН55МЗБ5ТЮ-ПС
650	–	2
700	–	1
900	3,3	–
1000	9	–
1100	70,6	–

В настоящий момент ведется разработка технологий получения порошков и изготовления из них заготовок из перспективных сплавов на основе алю-

миния типа АК9, также уделяется внимание повышению жаропрочности и жаростойкости никелевых сплавов типа In939, InHX, ЧС, СЛЖС. ■

Таблица 2
Характеристики паспортизованных сплавов, применяемых в аддитивном производстве ПАО «ОДК-Сатурн»

Характеристика	КХ28М6		Х15Н5Д4Б-ПС		ВТ6-ПСЭ		ВТ6-ПС		ХН55МЗБ5ТЮ-ПС	
	Т, град.	Значение	Т, град.	Значение	Т, град.	Значение	Т, град.	Значение	Т, град.	Значение
ρ, кг/м ³		8325		7780		4420		4410		8229
σ, МПа	20°С _в	1250	20°С _в	1510	20°С _в	850	20°С _в	948	20°С _в	1200
	900°С _в	365	300°С _в	1200	300°С _в	580	350°С _в	638	650°С _в	960
	1000°С _в	225	450°С _в	1100	500°С _в	495	450°С _в	602	750°С _в	680
	20°С _{0,2}	650	20°С _{0,2}	1230	20°С _{0,2}	790	20°С _{0,2}	888	20°С _{0,2}	980
	900°С _{0,2}	265	300°С _{0,2}	1030	300°С _{0,2}	460	350°С _{0,2}	516	650°С _{0,2}	910
	1000°С _{0,2}	190	450°С _{0,2}	900	500°С _{0,2}	390	450°С _{0,2}	480	750°С _{0,2}	600
δ, %	20°С	42	20°С	12,5	20°С	20	20°С	16,7	20°С	23,5
	900°С	21	300°С	4,6	300°С	24,5	350°С	16,5	650°С	21
	1000°С	19,5	450°С	6,7	500°С	28	450°С	18	750°С	9,4
σ, МПа	600°С _{100ч}	660	400°С _{100ч}	920	400°С _{100ч}	525	400°С _{100ч*}	570	600°С _{100ч}	850
	900°С _{100ч}	70	450°С _{100ч}	780	500°С _{100ч}	270	450°С _{100ч}	440	650°С _{100ч}	660
	1000°С _{100ч}	35							700°С _{100ч}	450
	20°С ₁ 2·10 ⁷ циклов	520	20°С ₁ 2·10 ⁷ циклов	540	20°С ₁ 2·10 ⁷ циклов	550	20°С ₁ 2·10 ⁷ циклов	400	20°С ₁ 2·10 ⁷ циклов	450
	900°С ₁ 2·10 ⁷ циклов	200					350°С ₁ 2·10 ⁷ циклов	320	500°С ₁ 2·10 ⁷ циклов	420
							400°С ₁ 2·10 ⁷ циклов	320	700°С ₁ 2·10 ⁷ циклов	420

АО «Компрессор» – единственное предприятие, осуществляющее создание и сопровождение систем сжатого воздуха на всех этапах жизненного цикла. Предприятие имеет богатый опыт разработки, изготовления, поставок, сервисного обслуживания и эксплуатации компрессорного оборудования для Министерства обороны РФ, ПАО «Газпром» и ГК «Росатом».

Компрессорное оборудование АО «Компрессор» надежно работает на всех кораблях ВМФ, гражданских судах с приемкой РМРС, на компрессорных станциях магистральных газопроводов Ухта–Торжок, Бованенково–Ухта, Североевропейский газопровод, Южный поток, Сахалин–Хабаровск–Владивосток, на нефтегазодобывающих платформах, в составе наземных сооружений ВМФ и МО РФ – базы в п. Гаджиево и г. Вилочинск, в составе подземных командных пунктов МО РФ, а также на атомных электростанциях, в том числе зарубежных – «Бушер», «Куданкулам» и «Руппур».

Компрессорное оборудование АО «Компрессор» применяется на космодромах «Байконур», «Плесецк», «Восточный». Для строительства космодрома «Восточный» предприятие разработало, изготовило и поставило оборудование, а также выполнило шеф-монтажные работы системы сжатого воздуха для сооружений стартового комплекса ракет – носителей «Союз-2» и для нового стартового комплекса для ракет – носителей семейства «Ангара».

Предприятие выпускает серийную продукцию широкой номенклатуры:

- компрессоры (винтовые, поршневые, мембранные) и компрессорные станции с конечным давлением от 0,7 до 42,0 МПа для сжатия различных газов (воздух, азот, кислород, водород, CO₂, аргон, природный газ и т. д.);
- холодильные установки и компрессоры;
- азотные установки;
- газораспределительные станции;
- блочные дожимные компрессорные станции;
- блочные воздушные компрессорные станции;
- блоки фильтров топливного газа;
- блочные контейнерные установки подготовки топливного, пускового и импульсного газа.

Воздух высокого давления (ВВД) – универсальный энергоноситель, на современных подводных кораблях используется в качестве рабочего тела для управления запуском ракет и торпед и обеспечения всплытия, на надводных кораблях, судах и атомных электростанциях – для запуска основных и резерв-

СОЗДАНИЕ СУДОВЫХ СИСТЕМ ОСУШКИ, ОЧИСТКИ, ХРАНЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЖАТОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК, В ТОМ ЧИСЛЕ КОРАБЛЕЙ ВМФ И ГРАЖДАНСКОГО ФЛОТА

*А.В. Бураков, начальник ЦКБ,
С.М. Томашевский, начальник отдела,
И.А. Томашевская, начальник сектора,
С.Ю. Титова, вед. инженер,
Д.В. Балакишина, инженер,
АО «Компрессор»,
контакт тел. (812) 295 5090*

ных дизелей; пневмоприводная техника на современных судах используется для обеспечения целого ряда судовых нужд, а также для выполнения различных технологических операций.

Судовая система ВВД представляет собой комплекс машин, механизмов и устройств, благодаря согласованному взаимодействию которых обеспечиваются потребности в сжатом воздухе определенных параметров. Основными элементами системы ВВД являются: компрессоры с рабочим давлением до 42,0 МПа как источники сжатого воздуха; блоки осушки и очистки сжатого воздуха; баллоны и ресиверы с рабочим давлением до 40,0 МПа для хранения сжатого воздуха; устройства и системы распределения – редукторы, распределительные щиты; устройства контроля параметров сжатого – датчики влаги и маслосодержания сжатого воздуха.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ОСУШКИ

В процессе сжатия воздуха компрессорами происходит загрязнение рабочей среды парами масла и продуктами износа трущихся поверхностей, а также капельной влагой, выпадающей в межступенчатых и концевом холодильниках. Сжатый поршневым компрессором воздух, загрязненный маслом, влагой и, возможно, продуктами износа, непригоден для большинства технических нужд, поэтому сразу после выхода из компрессора такой воздух должен пройти процесс осушки и очистки. Опыт применения компрессоров высокого давления показывает, что в процессе сжатия атмосферного воздуха до 40 МПа (400 кгс/см²) на 1 м³ воздуха в зависимости от его влагосодержания выделяется 10–250 кг конденсата, состоящего из воды и компрессорного масла.

При снижении давления сжатого воздуха в системе ВВД происходит падение температуры, вызванное эффектом Джоуля–Томпсона, так, при снижении давления с 40 до 1 МПа (с 400 до 10 кгс/см²) температура воздуха может упасть на 97 К (°С). Необходимость осушки воздуха вызывается также стремлением предотвратить обмерзание редукционных клапанов и трубопроводов, неизбежное при дросселировании воздуха высокого давления, содержащего влагу. Осушка и очистка сжатого воздуха, поступающего в систему ВВД судна, осуществляется отделителями водомасляной эмульсии и специальными блоками осушки и очистки сжатого воздуха, которые являются одним из важнейших элементов системы ВВД [1].

ТРЕБОВАНИЯ К СУДОВЫМ СИСТЕМАМ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Значения требуемого качества сжатого воздуха определяются потребителем. Требуемая точка росы воздуха по влаге в промышленности и на надводных кораблях составляет, как правило, –40 °С. Для систем ВВД влагосодержание осушенного воздуха должно соответствовать температуре точки росы не выше минус 55 °С при атмосферном давлении.

Для осушки сжатого воздуха в промышленности применяются следующие методы:

- адсорбционная осушка;
- осушка за счет охлаждения;
- осушка за счет дополнительного сжатия;
- химическая осушка.

Для осушки сжатого воздуха в системах ВВД применяется адсорбционный метод, реализуемый в адсорбционных осушителях, где молекулы газа или пара притягиваются молекулярными сила-

ми адсорбента. Осушительным агентом является специальный сорбент сферической или гранулированной формы. После каждого рабочего цикла требуется восстановление свойств агента, для этого, как правило, используются два адсорбера: один для осушки, другой для регенерации. В адсорберы засыпается адсорбент, имеющий внутренние капилляры с большой площадью поверхности, на которой и происходит адсорбция воды. После насыщения адсорбенты со связанными молекулами воды необходимо регенерировать [2].

Наиболее распространенным вариантом конструктивного оформления этих процессов являются установки с неподвижным слоем адсорбента, состоящие из двух или более адсорберов, работающих в сменно-циклическом режиме: адсорбция (осушка) – регенерация (подготовка адсорбента к следующей рабочей стадии).

Среди природных и синтетических адсорбентов наибольшее распространение в промышленности для глубокой и тонкой очистки газовых сред получи-

ли силикагели, алюмогели (активные оксиды алюминия) и молекулярные сита (цеолиты).

Наиболее низкой точкой росы осушенного газа в сравнении с алюмогелями и силикагелями обладают молекулярные сита (цеолиты), однако для регенерации цеолитов требуется высокая температура [3].

В соответствии с характеристиками цеолитов, например, синтетического цеолита NaX [3], минимальное гарантированное влагосодержание воздуха, осушенного цеолитом, может достигать точки росы $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ при атмосферном давлении. Температура регенерации должна быть не меньше $280\text{ }^{\circ}\text{C}$. Аналогичные свойства в соответствии с техническими условиями и паспортами имеют практически все отечественные цеолиты (производства ОАО «Газпром нефтехим Салават», АО «Росхимзащита», ООО «Сорбенты», ГК «Реалсорб») и цеолиты иностранного производства.

Учитывая свойства адсорбентов, АО «Компрессор» в процессе работы использует для решения конкретных

задач соответствующие адсорбенты и схемные и технические решения, так, в серийных блоках осушки с термической регенерацией адсорбента (табл. 1) используются цеолиты, а в установках с безнагревной регенерацией (табл. 2) – силикагели и алюмогели.

На промышленные и судовые блоки осушки сжатого воздуха распространяются следующие стандарты качества:

ГОСТ 17433–80 «Сжатый воздух. Промышленная чистота. Классы загрязненности» [4];

ГОСТ Р ИСО 8573–1–2016 «Сжатый воздух. – Ч. 1: Загрязнения и классы чистоты» [5];

ГОСТ Р ИСО 7183–2017 «Осушители сжатого воздуха. Технические условия и методы испытаний» [6].

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ СУДОВЫХ СИСТЕМ СЖАТОГО ВОЗДУХА

В 1962–1970 гг. в ЦКБ «Компрессор» работали над созданием блоков осушки и очистки воздуха, сжимаемого до $39,2\text{ МПа}$ (400 кгс/см^2). В отечественной промышленности подобных блоков

Таблица 1

Перечень серийных блоков осушки АО «Компрессор» для ВМФ

Параметр	Значение для блоков осушки					
	10 Б0-2	19 Б0	28 Б0	Б0 10/400	29 Б0-1 29 Б0-1 М	14 Б0-3
Пропускная способность, $\text{м}^3/\text{ч}$	600	32	200	200	32	600
Конечное давление, кгс/см^2	400	150–200	200–400	200–400	200	400
Степень осушки (точка росы), не выше $^{\circ}\text{C}$	-60	-55	-55	-55	-55	-60
Содержание масла, мг/л	Не более $2 \cdot 10^{-4}$ (при атмосферном давлении)					
Величина мех. частиц, мкм	Не более 5					
Мощность электропитания, кВт, не более	2,8	1,5	2,8		1,7	2,8
Управление блоком	Автомат.	Ручное			Автомат.	
Режим работы	Непрерывный (без остановок на регенерацию)					
Масса блока, кг	590	270	450	450	320	610
Габаритные размеры, мм:						
– длина	1100	580	950	950	780	1800
– ширина	500	470	525	525	575	800
– высота	1510	1205	1330	1330	1175	2500

Таблица 2

Основные параметры блоков осушки с безнагревной регенерацией

Параметр	Значение для блоков осушки					
	Б050/32	Б0130 /32	Б0130 /50	Б050 /100	Б05 /8	Б06/8
Давление рабочей, МПа (кгс/см^2)	3,2 (32)		5,0 (50)	6,4 (64)	0,8 (8)	0,8 (8)
Пропускная способность, $\text{м}^3/\text{ч}$	50	220	130	30	1	6
Влагосодержание осушенного воздуха при атмосферном давлении соответствует температуре точки росы, $^{\circ}\text{C}$, не выше	-40				-55	-40
Потребляемая мощность, кВт, не более	0,5					
Рабочее напряжение	220 В, 50 Гц					
Температура воздуха на входе, $^{\circ}\text{C}$ не более	50					
Падение давления на осушителе МПа (кгс/см^2), не более	0,05 (0,5)					
Регенерация адсорбента	Безнагревная, обратным потоком осушенного воздуха, отбираемого из адсорбера, работающего на насыщение					
Расход продувочного воздуха (в среднем за 1/2 цикла), %, не более	18				17,3	

не было, специалисты ЦКБ «Компрессор» и Ленинградского компрессорного завода впервые в отечественном судостроении их разработали. Технической основы для создания таких блоков, отвечающих необходимым требованиям к технике, не было. В этих условиях завод и ЦКБ начали научные работы по изысканию эффективных твердых поглотителей, способов осушки, фильтрующих материалов, теплообменных процессов, методов контроля влажности, и в результате завод с 1962 г. наладил выпуск серийных отечественных блоков осушки и очистки ВВД, полностью удовлетворяющих требованиям заказчика – прежде всего военно-морского флота. В этом большая заслуга принадлежала начальнику отдела Ю. В. Васильеву, а также ведущим конструкторам ЦКБ «Компрессор» в этой области техники А. Е. Боссаку, Е. Г. Марихейну, В. К. Киселеву [7]. Только основываясь на опыте первых создателей блоков осушки, стали возможным серийное производство, разработка и совершенствование систем осушки сжатого воздуха для широкого ряда технических областей, в том числе осушка природного газа [8].

Для нужд ВМФ АО «Компрессор» серийно изготавливает большое количество блоков осушки и очистки сжатого воздуха с регенерацией адсорбента методом нагрева, перечень серийных блоков осушки приведен в табл. 1.

АО «Компрессор» является разработчиком и изготовителем типоряда блоков осушки с безнагревной регенерацией по техническим условиям ВЕПР.067561.002 ТУ, предназначенных для осушки сжатого воздуха до заданных параметров при совместной работе с различными электрокомпрессорами соответствующего давления. Блоки осушки изготавливаются в климатическом исполнении ОМ5 по ГОСТ 15150–69. Блоки осушки с входящими в их состав электрооборудованием и системами управления удовлетворяют правилам Российского морского регистра судоходства (РС) [9–10].

Блоки осушки серийно изготавливаются в различных исполнениях по конечному давлению (от 0,5 до 39,2 МПа) и пропускной способности (от 5 до 2000 $\text{nm}^3/\text{ч}$). Основные параметры блоков осушки с безнагревной регенерацией приведены в табл. 2.

По запросам заказчиков АО «Компрессор» разрабатывает нестандартные блоки осушки, в частности, были изготовлены и поставлены малогабаритный блок осушки БО5/8 для судна пр. 14400 (рис. 1), блок осушки пускового воздуха БО130/32 для судна пр. 03182 (рис. 2), блок осушки для пускового воздуха АЭС БО50/32 для АО «Коломенский завод» (рис. 3), блок осушки на рабо-



Рис. 1. Блок осушки БО5/8



Рис. 2. Блок осушки БО130/32



Рис. 3. Блок осушки БО50/32

чее давление 1,6 МПа – БО60/16 для СЗ «Нерпа» (рис. 4), сейсмостойкий блок осушки БО50/100 для АО



Рис. 4. Блок осушки БО60/16



Рис. 5. Блок осушки БО50/100

«Трансинжстрой» (рис. 5), встроенный БО60/150/380 для корабля пр. 23550 (рис. 6).

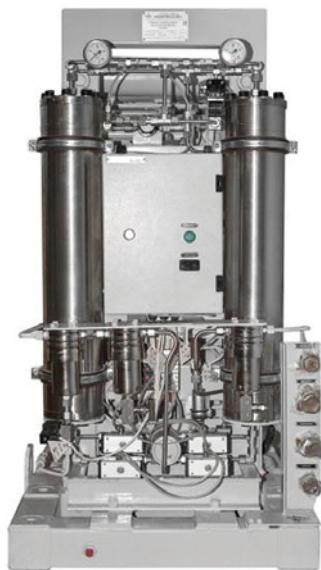


Рис. 6. Блок осушки БО60/150/380

В 2023 г. АО «Компрессор» расширило номенклатуру выпускаемых блоков осушки для обеспечения потребности АЭС «Руппур» и разработало осушители сжатого воздуха 10 БО (рис. 7), БО900-1 (рис. 8) и БО10000-2 (рис. 9).



Рис. 7. Автоматизированный блок осушки и очистки сжатого воздуха 10 БО



Рис. 8. Осушитель сжатого воздуха БО900-1



Рис. 9. Осушитель сжатого воздуха БО10000-2

Автоматизированный блок осушки и очистки сжатого воздуха 10 БО для системы QFA предназначен для осушки сжатого воздуха и очистки его от паров масла и механических примесей до заданных параметров, рабочее давление блока осушки – 5,5 МПа с пропускной способностью (объемный расход) 30 м³/ч (при 101,325 кПа и 20 °С), точка росы – минус 10 °С.

Осушитель сжатого воздуха БО900-1 является элементом системы генерации сжатого воздуха SCA, предназначен для осушения сжатого воздуха, подаваемого от компрессора и используемого в системе подачи сжатого воздуха для контроля межконтурной плотности теплообменных трубок парогенератора QES. Рабочее давление осушителя – 2,5 МПа с пропускной способностью (объемный расход) 900 м³/ч (при 101,325 кПа и 20 °С), точка росы – минус 10 °С.

Осушитель сжатого воздуха БО10000-2-00.000 является элементом системы сжатого воздуха для системы SCC, предназначен для осушения сжатого воздуха, рабочее давление осушителя – 0,6–0,8 МПа с пропускной способностью (объемный расход) 10 000 м³/ч (при 101,325 кПа и 20 °С), точка росы на выходе – 3 °С.

АО «Компрессор» является разработчиком и изготовителем ресиверов (рис. 10–12) и баллонов пускового и рабочего воздуха на рабочее давление от 0,8 до 15,0 МПа объемом от 0,1 до 5 м³ МЯНИ.061621.001 ТУ. Данные изделия были разработаны [11] и поставлены для катеров и судов проектов CNF11CPD, 1388 НЗТ, 14400, 16450, 20360 М, 21980, 23380, 23700, а также для АО «Коломенский завод», АО «Севмаш-шельф», АО «Трансинжстрой».

Также АО «Компрессор» было разработано и изготовлено ударостойкое оборудование для систем сжатого воздуха высокого давления [13] в составе щитов баллонов, щитов редуцирования, щитов управления, баллонных секций, рам баллонов [12], колонок приемных, кол-



Рис. 10. Ресивер PB1000/32



Рис. 11. Ресивер PB1000/8



Рис. 12. Ресивер PB355/32-B

лекторов измерительных для объектов 245-51 и 1335, космодрома «Восточный» стартового комплекса «Ангара», на объекты АО «Трансинжстрой» (рис. 13–16).

Для автоматизированного контроля за параметрами сжатого воздуха высокого давления предприятие разрабатывает и изготавливает специальное оборудование:

- систему индикации влажности СИВ-00.100 [14]. Назначение – определение температуры точки росы сжатого газа. Диапазон давления на входе – до 39,2 МПа (400 кгс/см²);



Рис. 13. Рампа баллонов РБ-4-170-200-1



Рис. 16. Рампа баллонов Р/200x2/24,5



Рис. 14. Ресивер РВ90/60-В

диапазон измерения точки росы – от плюс 20 до минус 100 °С. Имеет несколько модификаций по степени автоматизации, поставляется с приемкой ОТК, ВП и РМРС;

- фотоионизационный анализатор масла ФАМ-К [15]. Назначение – определение содержания компрессорного масла в сжатом газе. Давление на входе – до 39,2 МПа (400 кгс/см²). поставляется в климатическом исполнении «ОМ», категория размещения – 4 по ГОСТ 15150 для эксплуатации при температурах окружающего воздуха от 278 до 323 К (от 5 до 50 °С). Имеет несколько модификаций по степени автоматизации.

Системы контроля воздуха приведены на рис. 17 и рис. 18.

ВЫВОДЫ

В нынешних геополитических условиях российское судостроение сталкивается с отсутствием иностранных изделий, материалов и технологичес-

кого оборудования, которые ранее использовались на судах и кораблях ВМФ, существует дефицит ряда комплектующих изделий.

АО «Компрессор», невзирая на обстоятельства, на протяжении более 50 лет производит и совершенствует

оборудование для осушки, хранения, распределения и контроля параметров сжатого воздуха, которое применяется в энергетических установках, в том числе на кораблях ВМФ и судах гражданского флота. Благодаря этому от поколения к поколению инженеров, технологов, рабочих передается опыт и уникальный комплекс профессиональных знаний по созданию специализированного компрессорного оборудования, что позволило не только сохранить, но и развить и приумножить отечественный научно-технический потенциал. Благодаря этому удалось ликвидировать зависимость судостроительной отрасли от иностранных поставщиков компрессорного оборудования при строительстве кораблей и судов и других стратегических объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тигарев П. А. Справочник по судовым компрессорам – Л.: Судостроение, 1981.
2. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники. – М.: Химия, 1976.
3. Серпионова Е. Н. Промышленная адсорбция газов и паров. – М.: Высшая школа, 1969.
4. ГОСТ Р ИСО 8573-1–2016. Сжатый воздух. Часть 1. Загрязнения и классы чистоты.
5. ГОСТ 17433–80. Сжатый воздух. Промышленная чистота. Классы загрязненности.
6. ГОСТ Р ИСО 7183–2017. Осушители сжатого воздуха. Технические условия и методы испытаний.
7. История производственного объединения «Компрессор». – Л.: Изд. ПО «Компрессор», 1988.
8. Развитие технологий глубокой адсорбционной сушки природного газа в установках подготовки импульсного газа/Кузнецов Ю. Л., Бураков А. В., Перминов А. С., Титова С. Ю., Шарифова С. Э. – Экспозиция «Нефть Газ», 2020, с. 73.
9. Патент РФ № 83712. Установка для осушки сжатого газа. – Оpubл. 20.06.2009 (КЦА).
10. Патент РФ № 179036 Блок осушки сжатого воздуха. – Оpubл. 25.04.2018; (КЦА).
11. Патент РФ № 150290 Ресивер пускового воздуха и система пускового воздуха. – Оpubл. 13.02.2015.
12. Патент РФ на промышленный образец № 124465. Рампа баллонов. – Оpubл. 25.03.2021.
13. Бураков А. В., Томашевский С. М., Титова С. Ю. Создание стойкого к механическим воздействием факторам компрессорного оборудования для производства, хранения и распределения воздуха. – Труды XV науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 21–22 ноября 2022 г. – Инновационные технологии и технические средства специального назначения. – В 2-х т. – СПб.: БГТУ «Военмех», 2023. – С. 8–16. – EDN EXGTIY.
14. Патент РФ № 166591. Устройство для измерения влажности сжатого газа. – Оpubл. 10.12.2016.
15. Патент РФ № 172095. Устройство для контроля содержания масла в сжатом газе. – Оpubл. 27.06.2017. ■



Рис. 17. Система контроля влаги в сжатом воздухе



Рис. 18. Система контроля масла в сжатом воздухе

Уровень гидродинамического шума (ГДШ) трубопроводной арматуры, возникающего при турбулентном течении жидкости, является одним из основных критериев оценки соответствия изделия предъявляемым требованиям, поэтому необходимо на этапе проектирования иметь возможность расчета данного параметра.

Существуют различные методы расчета прогнозируемых уровней ГДШ. В инженерной практике широко используются методы, основанные на полуэмпирической теории турбулентных течений, а также статистические характеристики турбулентных потоков. Такой подход ограничивает круг решаемых задач относительно простыми случаями. Наиболее широкими возможностями расчета прогнозируемого уровня ГДШ обладают численные методы, пересекающиеся с моделированием турбулентных течений.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Существуют различные подходы к моделированию турбулентности, основные категории приведены в таблице.

RANS (Reynolds-averaged Navier–Stokes) – осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье–Стокса. Метод расчета стационарных турбулентных течений. Осреднения по Рейнольдсу заключаются в замене случайно изменяющихся характеристик потока (скорость, давление, плотность) суммами осредненных и пульсационных составляющих.

URANS (unsteady Reynolds-averaged Navier–Stokes) – нестационарные осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье–Стокса. Отличие данного метода от RANS заключается в том, что в результате расчета получается нестационарная характеристика потока, т. е. зависящая от времени.

Применительно к задачам внутреннего течения жидкости в системах с геометрически искривленными границами наиболее высокий рейтинг имеет модель Ментера ($k\omega$ Shear Stress Transport или SST модель).

LES (Large Eddy Simulation) – метод моделирования крупных вихрей. Данный метод является вторым по трудоемкости из существующих подходов к моделированию турбулентности. Его идея состоит в замене «глобального» осреднения характеристик реального турбулентного течения во времени «фильтрацией» этих характеристик от коротковолновых неоднородностей или, иными словами, их пространственным осреднением по областям с размерами порядка размера фильтра.

DNS (Direct Numerical Simulation) – моделирование турбулентности методом прямого численного моделирования. Допущение, на котором базируется DNS, состоит в том, что уравнения Навье–Стокса адекватно описывают не только ламинарные, но и турбулентные течения.

Трактовку различных подходов к моделированию турбулентных течений можно пояснить графически, используя условное распределение кинетической энергии турбулентности по волновым числам (рис. 1). При использовании RANS методов моделируется весь спектр, в LES рассчитывается лишь его часть, соответствующая размерам вихрей, не превосходящим ширину фильтра. DNS предполагает разрешение всего спектра масштабов турбулентного течения. Для использования данного подхода требуются огромные вычислительные ресурсы, а возможности применения ограничены течениями с достаточно простой геометрией. Метод моделирования крупных вихрей (LES) является промежуточ-

РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

А.Г. Мальцев, начальник сектора ЗАО «ЦНИИ СМ»,
К.Г. Михеев, техн. директор,
С.В. Огурцов, зам. гл. конструктора,
В.В. Пушкарев, вед. инженер, ОАО «НПО «Гидромаш»,
 контакт. тел. +7 (931) 257 4771

Таблица

Категории моделирования турбулентности

Прямое численное моделирование (DNS)	Моделирование крупных вихрей (LES)	Решение уравнений Рейнольдса (RANS)
Уравнения		
Уравнения Навье–Стокса	Отфильтрованные уравнения Навье–Стокса	Осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье–Стокса
Модель турбулентности		
Отсутствует	Подсеточная модель	Полуэмпирическая модель



Рис. 1. Спектр кинетической энергии турбулентности и подходы к моделированию

ным вариантом между DNS и RANS с точки зрения затрат на вычисления, однако расчет течения в области пограничного слоя по плотности расчетной сетки приближается к DNS, что существенно ограничивает применение этого метода. RANS модели являются самыми экономичными по требованиям к вычислительным мощностям, но при этом не могут обеспечить приемлемую точность предсказания характеристик многих течений в силу ограниченности возможностей полуэмпирических моделей турбулентности, в рамках которых не могут быть описаны характерные для отрывных течений крупномасштабные нестационарные трехмерные вихревые структуры. На основании этих данных были разработаны гибридные подходы, сочетающие в себе экономичность RANS и универсальность LES.

Комбинация RANS и LES получила название метода моделирования отсоединенных вихрей DES (*Detached-Eddy*

Simulation). DES позволяет рассчитывать не все энергонесущие вихри, а лишь «отсоединённые», которые населяют отрывные зоны, а вихри, населяющие области присоединенных пограничных слоев, описываются обычными полуэмпирическими RANS моделями.

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА УРОВНЕЙ ГДШ

Для решения задач, связанных с прогнозированием уровней ГДШ, применяются вихреразрешающие подходы к моделированию турбулентности, такие, как прямое численное моделирование (DNS) и моделирование крупных вихрей (LES). В случае, если нет необходимости расчета вихревых структур в присоединенном пограничном слое, возможно применение менее ресурсоемкого метода моделирования отсоединенных вихрей (DES).

При расчете прогнозируемых уровней ГДШ численными методами можно выделить два основных подхода – прямой и гибридный.

Прямой подход предполагает совместный расчет генерации звука турбулентными структурами и распространение звуковых волн за пределы турбулентной области вплоть до положения наблюдателя. Достоинством данного подхода является лучшее описание физики рассматриваемых процессов, однако это требует значительных вычислительных ресурсов.

Гибридный подход основан на раздельном расчете генерации шума и его распространения. На первом этапе проводится CFD расчет течения жидкости, выходными параметрами которого являются поля скоростей и давлений, а также компоненты тензора напряжений, которые используются в качестве источников членов в неоднородном волновом уравнении. На втором этапе выполняется расчет распространения звука с помощью акустической аналогии. Данный подход позволяет существенно снизить требования к вычислительным ресурсам, при этом основным недостатком является разделение задачи на гидродинамическую и акустическую части, при этом можно учесть только влияние турбулентного течения на генерацию акустических волн, а их взаимодействие между собой не учитывается.

РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ГДШ ПРИ ОБТЕКАНИИ ДРОССЕЛЯ

Для оценки пригодности численных методов прогнозирования уровней ГДШ с помощью программного обеспечения COMSOL Multiphysics был проведен расчет шума, генерируемого турбулентным потоком при обтекании дросселя, гибридным методом и проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

С целью получения экспериментальных данных был собран специальный стенд, схема и модель которого приведены на рис. 2 и рис. 3. При измерениях контролировались уровни гидродинамического шума за обтекаемым дросселем с помощью гидрофона (рис. 4). Подача жидкости обеспечивалась гидростатическим напором и при измерениях составила $Q = 7,4 \text{ м}^3/\text{ч}$. Перепад давления на дросселе – $\Delta h \approx 0,3 \text{ м}$ вод. ст.

На первом этапе был проведен предварительный стационарный расчет течения несжимаемой жидкости с использованием модели турбулентности $k-\epsilon$, по результатам которого была скорректирована сеточная модель (рис. 5) для более точного разрешения параметров потока, а именно, выполнено измельчение в областях генерации шума, где размер элемента сетки превышал линейный масштаб энергосодержащих вихрей.

Далее был проведен трёхмерный нестационарный расчет течения несжимаемой жидкости методом моделирования крупных вихрей RBVM (Residual Based Variational Multiscale) с использованием в качестве начальных условий результатов стационарного расчета, выполненного предвари-

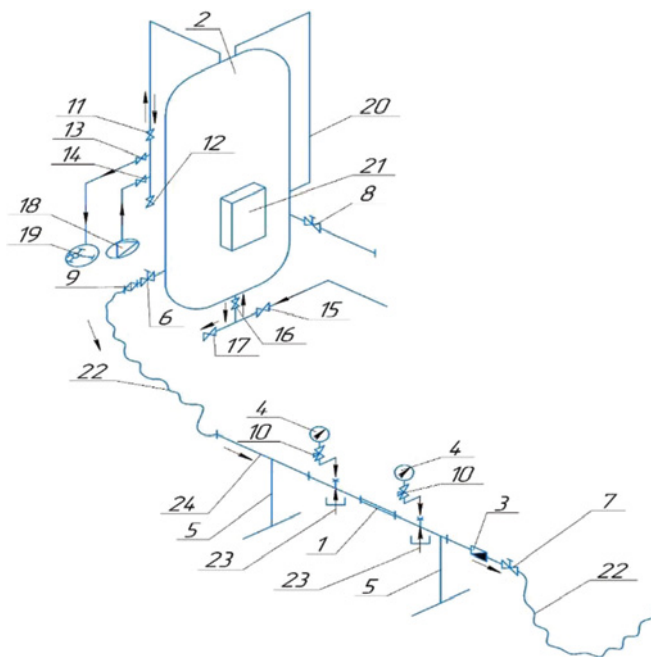


Рис. 2. Схема испытательного стенда

1 – участок из оргстекла с дроссельной шайбой; 2 – бак гидравлический; 3 – расходомер; 4 – мановакуумметр; 5 – стойка опорная; 6 – задвижка ЗНД; 7 – задвижка ЗНД; 8 – задвижка ЗНД; 9 – фильтр; 10 – кран трёхходовой; 11 – кран общей линии; 12 – кран продувки бака; 13 – кран вакуум-насоса; 14 – кран линии компрессора; 15 – кран заливки бака; 16 – кран общей линии заливки и слива; 17 – кран слива бака; 18 – компрессор; 19 – вакуум-насос; 20 – трубка уровня воды; 21 – шкаф управления стенда; 22 – рукав резиноканевый с металлической оплёткой; 23 – гидрофон; 24 – участок трубопровода

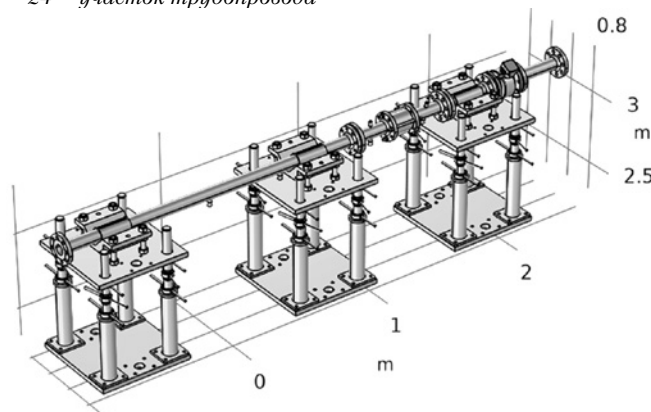


Рис. 3. Модель измерительного участка стенда

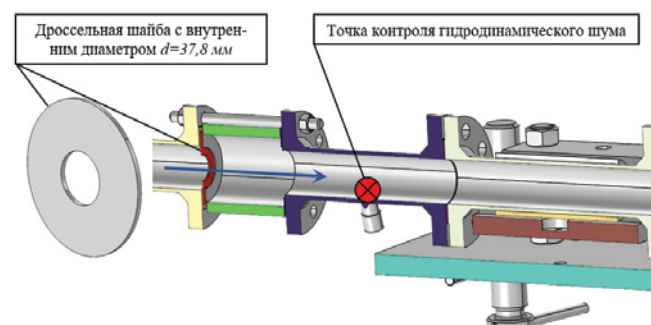


Рис. 4. Точка контроля гидродинамического давления при обтекании дросселя

тельно. В результате получены параметры потока, необходимые для получения суммарного акустического давления. На рис. 6 и рис. 7 представлены поля скоростей и давлений, а также изоповерхность по параметру Q-criterion со значением $1e4 \text{ с}^{-2}$ для визуализации вихревого течения. Рас-

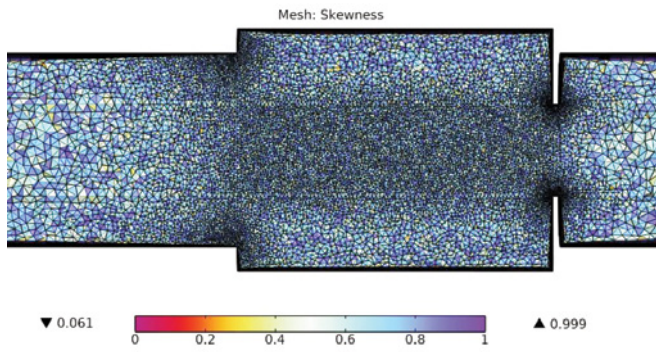


Рис. 5. Сеточная модель вблизи дросселя
а)

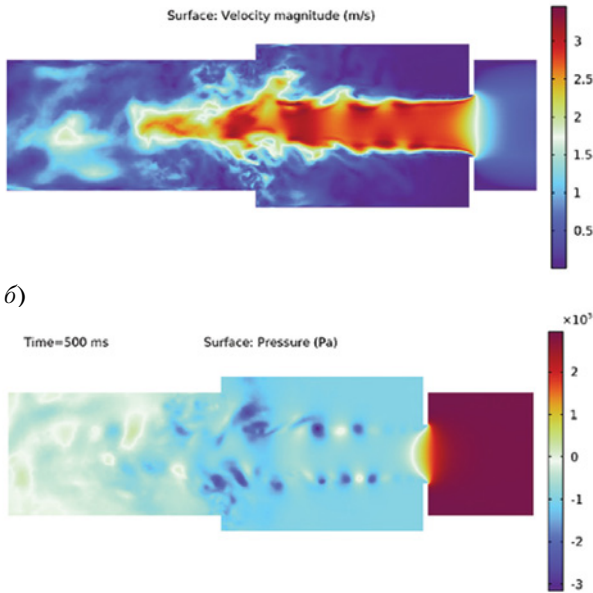


Рис. 6. Результаты расчёта на временном шаге $t = 500$ мс:
а – скалярное поле скоростей, б – скалярное поле давлений

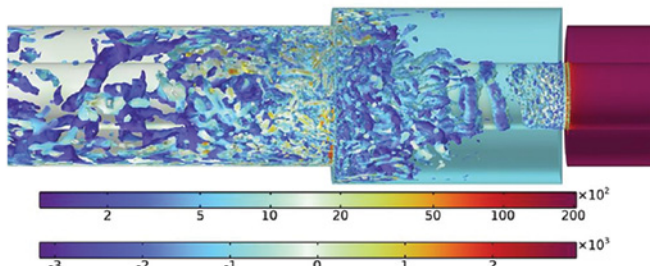


Рис. 7. Изоповерхность по параметру Q -criterion = $1e4 s^{-2}$

четный перепад давления на дроссельной шайбе составил $\Delta P = 3074$ Па, что с высокой степенью точности соответствует результатам эксперимента.

На следующем шаге было проведено отображение данных с сеточной модели для CFD на сеточную модель для акустического расчета с помощью мультифизической связки Aeroacoustic Flow Source Coupling. Отобразенные данные, полученные в нестационарной постановке, являются функцией от времени. Для акустического расчета и оценки результатов проведено преобразование в частотную область с помощью модуля Time to Frequency FFT с шагом по частоте $\Delta f = 2$ Гц до максимального значения исследуемого диапазона частот $f_{max} = 500$ Гц.

Прогнозируемые уровни ГДШ рассчитывались с помощью акустической аналогии Лайтхилла, основанной на преобразовании системы уравнений Навье–Стокса в неоднородное волновое уравнение, описывающее воздействие на неподвижную среду распределенных в поле турбулентного

потока квадрупольных источников. Уравнения имеют следующий вид:

$$\frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p'}{\partial t^2} - \nabla \cdot \nabla(p') = -\frac{\partial^2 L_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}; \quad (1)$$

$$p' = c_0^2 (\rho - \rho_0); \quad (2)$$

$$L_{ij} = \rho v_i v_j + ((p - p_0) - c_0^2 (\rho - \rho_0)) \delta_{ij} - \tau_{ij}, \quad (3)$$

где c_0 – скорость распространения звука в среде, L_{ij} – тензор Лайтхилла, p – суммарное давление, ρ – суммарная плотность, τ_{ij} – тензор вязких напряжений, индекс 0 обозначает параметры жидкости в состоянии покоя, p' – представляет линейную акустическую вариацию давления вне источниковой области.

Обозначения в формулах (1), (2), (3), не раскрытые ниже, известны из акустической аналогии Лайтхилла.

Тензор Лайтхилла состоит из трех частей, которые вносят вклад в источниковый член: реинльдсовы напряжения, нелинейные конвективные силы и тензор вязких напряжений.

Тензор Лайтхилла отвечает за генерацию шума, а правая часть волнового уравнения (1) является эквивалентной нестационарному потоку распределения акустических источников.

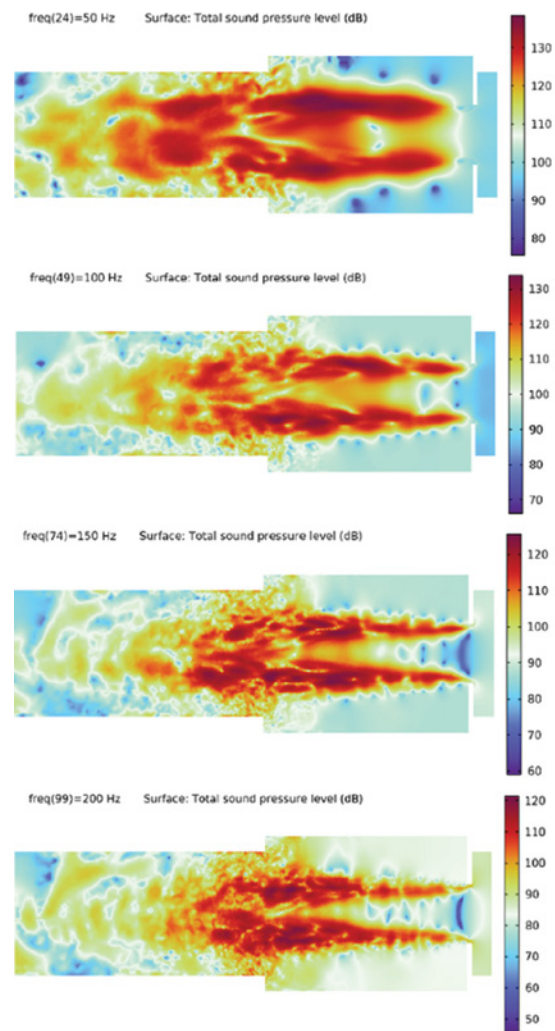


Рис. 8. Распределение суммарного гидродинамического давления в сечении (50–200 Гц)

В результате акустического расчета получены поля суммарного акустического давления в диапазоне частот от 5 до 500 Гц, часть из которых приведена на рис. 8 и рис. 9. Спектральные составляющие ГДШ приведены в точке, соответствующей геометрическому положению гидрофона. Сравнение экспериментальных данных и данных, полученных при расчете (рис. 10), показывает сходимость в определенном

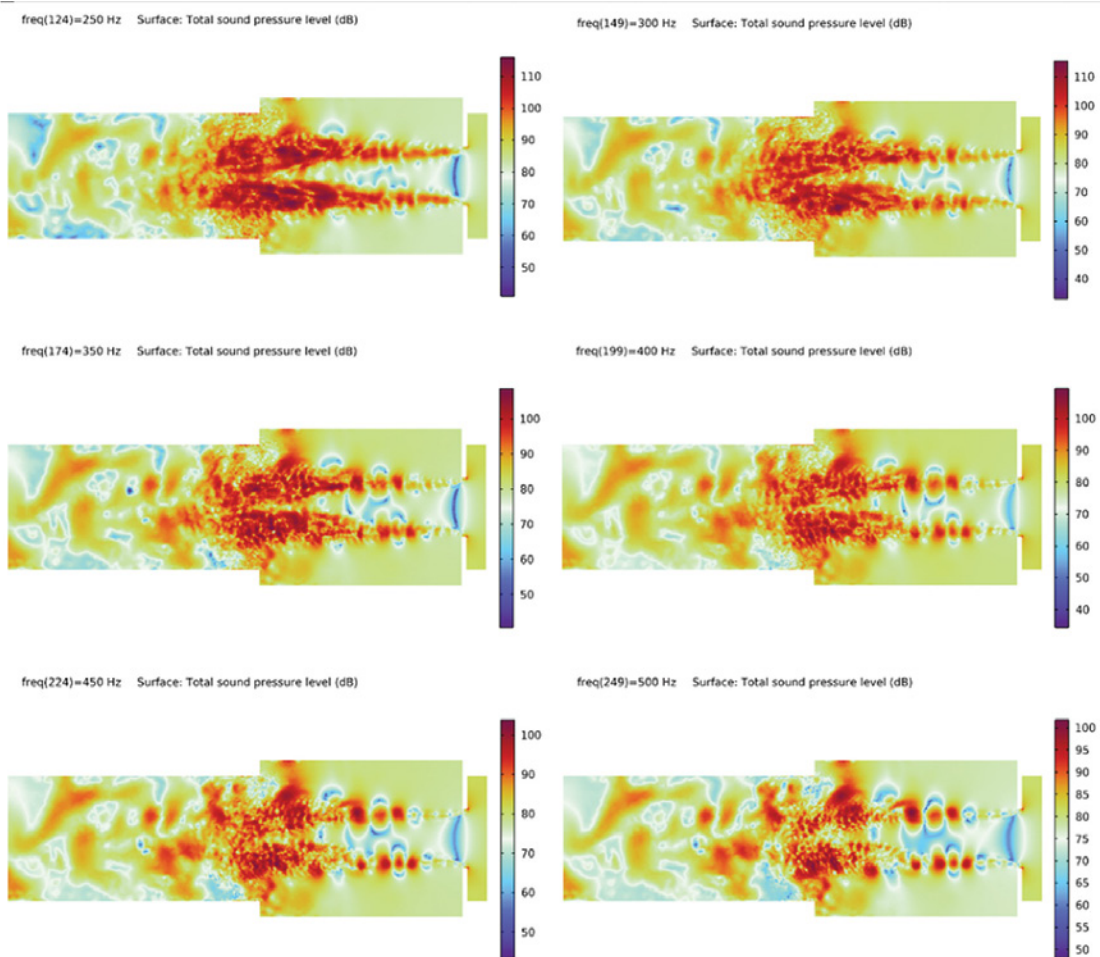


Рис. 9. Распределение суммарного гидродинамического давления в сечении (200–500 Гц)

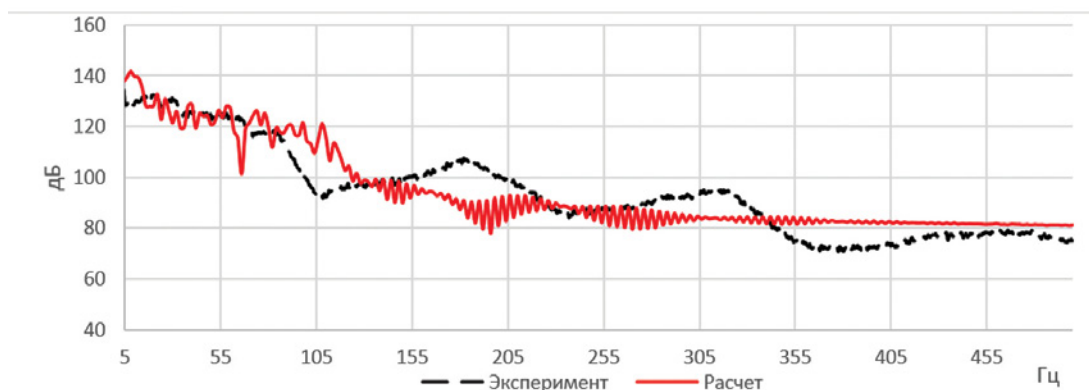


Рис. 10. Сравнение экспериментальных и расчетных спектров ГДШ

диапазоне частот. Расхождение результатов может быть связано с упрощениями, заложенными в методике расчета шума с использованием акустической аналогии Лайтхилла, в которой не рассматривается взаимодействие с подвижной стенкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогнозирование уровней ГДШ турбулентного потока, возникающего при обтекании трубопроводной арматуры, с помощью акустической аналогии Лайтхилла позволяет

оценить различные варианты геометрии и модернизировать конструкцию с целью минимизации шума в необходимом диапазоне частот. Однако для более точного результата необходимо также учитывать и влияние вибрирующей твердой поверхности, ограничивающей область течения и генерирующей акустические волны. Для этого проводится моделирование взаимодействия механики жидкости и твердого тела с учетом двустороннего взаимодействия, что позволяет при акустическом расчете задать как гидродинамические источники шума, так и механические. ■

В двигатель с рабочим воздухом всегда поступают содержащиеся в нем соли. В зависимости от места эксплуатации в составе солей преобладают или хлориды или сульфаты. Такое название солей происходит от ионов солей, содержание которых подлежит измерению, прежде всего ионов Cl , SO_4 , др. [1].

По данным метеорологов, в прибрежной полосе преобладание тех или иных солей определяется направлением ветра: если он дует с берега преобладают сульфаты, с моря – хлориды [1]. При эксплуатации ГТД в промышленной зоне преобладают сульфаты, при эксплуатации в море – хлориды. Состав солей в воздухе может отличаться от состава солей в морской воде за счет присутствия аэрозолей. В воде количество сульфатов может составлять до 9%, а в воздухе до 20%.

Количество солей, попадающих в воздух, в приемную шахту, зависит от силы ветра, курсового угла, брызгообразования корпуса судна, скорости его хода и других факторов.

В табл. 1 представлены обобщенные данные, в основном о влиянии ветра, из литературных источников, данные о судах и кораблях были получены от НИИ им. А.Н. Крылова, ЦМКБ «Алмаз», ЦНИИМФ, ВМФ и др.

Для водоизмещающих кораблей данные представлены в зависимости от силы ветра и водоизмещения судна, определяющего высоту воздухоприемного отверстия. Измерения влажности воздуха на судах на воздушной подушке показали независимость их от силы ветра. Аналогичная картина имеет место и на кораблях на подводных крыльях.

В табл. 1 представлены результаты влажности воздуха, т.е. содержания граммов воды в килограмме воздуха в процентах.

Содержание солей в воздухе зависит и от солёности акватории, в которой работает ГТД: Балтийское море – 7 г/л, Черное море – 15 г/л, Атлантический океан – 35 г/л.

В табл. 2 показано содержание воздуха, пересчитанное с его влажности при солёности воды акватории 35 г/л.

Данные, приведенные в табл. 1 и табл. 2, характеризуют предельно возможные величины влажности и содержания воздуха соответствующих судов и кораблей.

При прохождении воздуха через компрессор соли из воздуха образуют солевые отложения на лопатках компрессора при температуре воздуха до 130–140 °С. Далее по ходу движения воздуха высохшие аэрозоли не задерживаются на лопатках, и в двигателях с двухкаскадным компрессором в компрессоре высокого давления (КВД) солевых отложений может не быть.

Солевые отложения образуются в КВД при наличии промежуточного воздухоохладителя, например ГТУ-20, в котором происходит конденсация воды, и весь процесс повторяется. Кроме того, соль в КВД может попасть при работе на низких режимах в результате неудачной промывки проточной части. При температуре воздуха в компрессоре выше 630 °С на лопатках может возникнуть сульфидно-оксидная коррозия.

Интенсивность образования солевых отложений на лопатках компрессора определяется и напорностью (степенью повышения давления) ступеней компрессора. Чем выше напорность ступеней, тем на меньшем числе ступеней возникают солевые отложения.

В результате солевых отложений характеристика осевого компрессора изменяется: изодромы смещаются в сторону меньших расходов и напора, снижается КПД.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ТИПОВЫМИ НЕИСПРАВНОСТЯМИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ МОРСКОЙ ВОДЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

И.П. Леонова, инженер,

А.З. Багерман, канд. техн. наук, руководитель секции «Судовые энергетические установки», РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова,

М.Н. Буров, канд. техн. наук, гл. конструктор по перспективе ПАО «ОДК-Сатурн»,

контакт. тел. (812) 710 4011

Таблица 1
Влажность воздуха (кг воды/кг воздуха) перед входом в воздухоприемную шахту

Тип судна, водоизмещение	Скорость ветра, м/с			
	0	4	8	12
КВП:				
– висение	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}
– ход	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$
Более 1000 т	$8 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$
Более 4000 т	10^{-5}	$3 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$
Более 8000 т	$2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}

Таблица 2
Солесодержание воздуха (мг солей/кг воздуха) на входе в воздухоприемную шахту

Тип судна, водоизмещение	Скорость ветра, м/с			
	0	4	8	12
КВП:				
– висение	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$
– ход	10^2	10^2	10^2	10^2
Более 1000 т	5	8	10	40
Более 4000 т	$6 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-1}$	1,0	2,0
Более 8000 т	$8 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}	$2 \cdot 10^{-1}$	
Фон		10^{-2}	10^{-1}	2,0

По результатам опытов на отдельных компрессорах и компрессорах в составе двигателя были получены зависимости (рис. 1–4), которые позволяют определять относительное изменение положения изодром по напору, расходу, КПД на характеристике компрессора в зависимости от поступившего в проточную часть количества солей, отнесенному к площади входа для осевых компрессоров с проточной частью, образованной ступенями при $\pi_{ст} > 1,2$ и $\pi_{ст} < 1,2$.

Наличие перед ГТД эффективного воздухоочистительного устройства (ВОУ) значительно, в 3–4 раза, уменьшает изменение параметров по сравнению, например, с компрессором при $\pi_{ст} < 1,2$.

Количество солей, которое задерживается компрессором с чистой проточной частью, может составлять до 90% при отсутствии ВОУ. В процессе эксплуатации и при наличии ВОУ это количество составляет не более 30%.

Снижение КПД турбин от солевых отложений составляет ок. 2% при относительном количестве соли, поступившей в проточную часть турбины, ок. 3,0 кг/м².

В результате солевых отложений в проточной части характеристика компрессора трансформируется аналогично показанному на рис. 1.

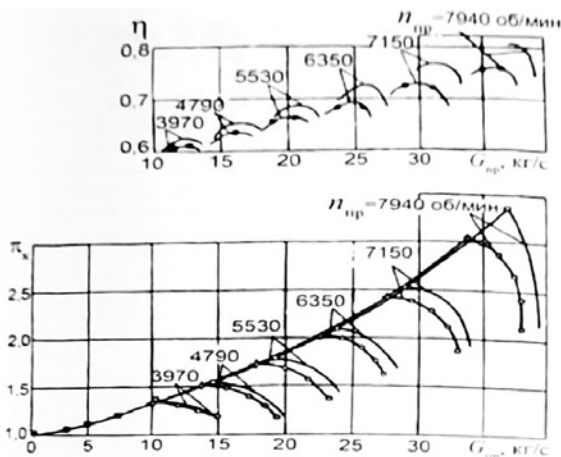


Рис. 1. Изменение характеристики компрессора при солевом заносе проточной части ($\pi_k=3$)
 —●— при работе на воздухе без солей; —○— после солевого заноса проточной части, $n_{пр}$ — приведенная частота вращения ротора компрессора

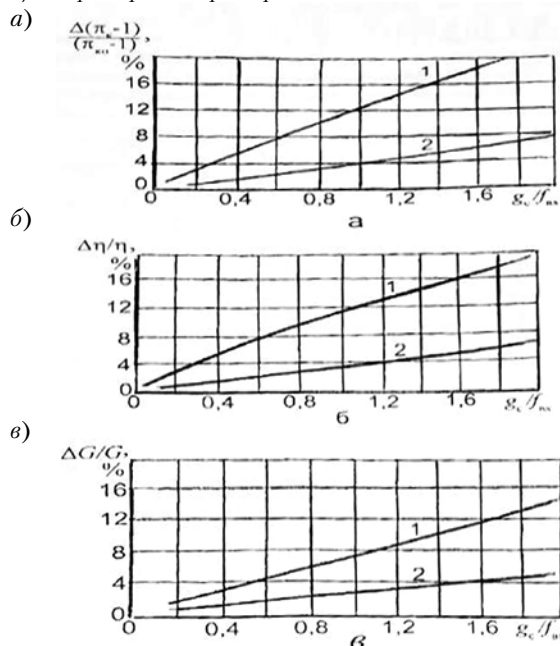


Рис. 2. Зависимость относительного изменения параметров в результате солевого заноса проточной части осевого компрессора: а — напора $\Delta(\pi_k - 1) / (\pi_{ко} - 1)$; б — КПД ($\Delta\eta/\eta$); в — расхода ($\Delta G_{пр}/G_{пр}$)
 1 — высоконапорный компрессор, $\pi_{ст} \geq 1,2$; 2 — низконапорный, $\pi_{ст} < 1,2$

Изменения параметров ГТД в результате солевого заноса проточной части определяются конструктивной схемой двигателя — с однокаскадным или двухкаскадным компрессором, условиями сравнения с исходной характеристикой.

Традиционно сравнение проводят при одинаковых значениях частоты вращения турбокомпрессора. Изменения параметров ГТД при солевом заносе проточной части ГТД с однокаскадным компрессором показаны в табл. 3.

Таблица 3

Изменения параметров при солевом заносе проточной части ГТД с однокаскадным компрессором $\pi_k = idem$

Тг	Рк	Тк	Тст	Гк
+	-	*	+	-

Здесь и далее + означает увеличение параметра, - — уменьшение параметра, * — изменения статистически не значимые. Тг, Рк, Тк, Тст, Гг — соответственно температура газа, давление воздуха за компрессором, температура воздуха за компрессором, температура газа за силовой турбиной, расход воздуха через компрессор.

В табл. 4 показано изменение параметров при одинаковых значениях степени повышения давления π_k .

Таблица 4

Изменения параметров при солевом заносе проточной части ГТД с однокаскадным компрессором $\pi_k = idem$

Тг	пк	Тк	Тст	Гк
+	*	+	+	-

Изменения характеристик двигателя вследствие его неисправностей обычно ограничено изменением температуры газа на заданную величину ΔT . При этом другие параметры двигателя также изменяются, и их изменения определяются, в том числе, видом неисправности, степенью ее развития, влияет также способ сравнения: при одинаковых π_k , π_k и т.д. Поэтому для выявления всех возможных видов неисправностей целесообразно проводить параметрическую диагностику при нескольких способах сравнения. Например, при $\pi_k = idem$ и $\pi_k = idem$.

На рис. 3 показаны результаты сравнения температуры газа при разных подходах, но при одинаковом техническом состоянии двигателя.

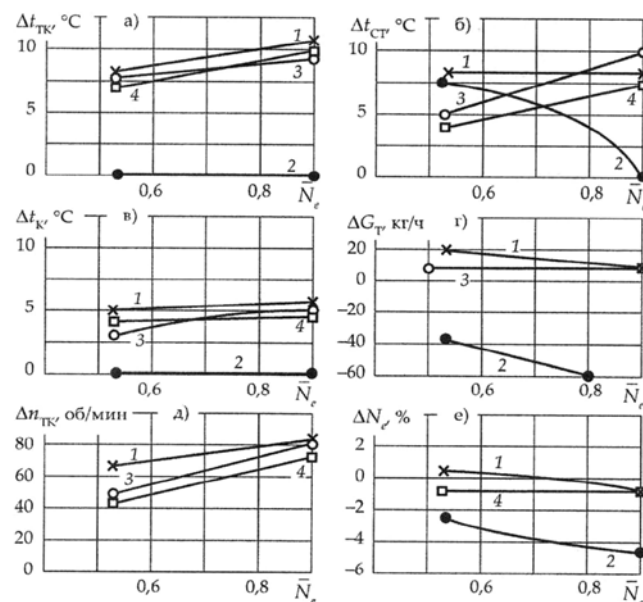


Рис. 3. Изменение параметров ГТД с однокаскадным компрессором: а — при солевом заносе проточной части; б — при относительном снижении КПД компрессора на 1% при различных способах сравнения
 1 — одинаковых π_k ; 2 — одинаковых π_k ; 3 — одинаковых N_e ; 4 — одинаковых G_m (расход топлива)

Для оценки влияния на параметры двигателя совместного действия нескольких неисправностей был выполнен натурный эксперимент с ГТУ корабля на воздушной подушке. На берегу были получены характеристики двигателя как в исходном состоянии, так и с открытым отбором воздуха за компрессором низкого давления (КНД). Затем в море проведен солевой занос КНД и остальной проточной части двигателя. После этого на берегу были получены характеристики двигателя после солевого заноса, после солевого заноса и открытого отбора воздуха за КНД.

Результаты показали, что изменения параметров от каждой неисправности складываются, т.е. при прогнозировании изменения характеристик ГТД при эксплуатации можно складывать изменения параметров с их знаком от каждой неисправности. Например, если после солевого заноса проточной части температура газа увеличилась на ΔT_1 , а затем включить отбор воздуха, который также приводит к повышению температуры газа на ΔT_2 , то сумма их не должна превышать заданную допустимую величину.

Следовательно, проектант двигателя должен задавать величины ограничительных параметров, например температуры газа, оговаривая способ сравнения параметров.

Изменения параметров ГТД с двухкаскадным компрессором при разных видах неисправностей проточной части

Вид неисправности	Режим работы	T_g	π_n	π_b	π_Σ	G_b	B	n_n
Солевой занос КНД и др.	0,2 – 0,6 0,6 – 0,8	+ +	- -	+ +	- -	- -	- -	* -
Солевой занос ТВД и др.	0,2 – 0,8	+	*	+	+	+	+	+
Протечки воздуха из КНД	0,2 – 0,8	+	-	+	-	-	+	+
Протечки воздуха из КВД	0,2 – 0,8	+	-	-	-	-	-	-
Протечки газа за ТНД	0,2 – 0,6 0,6 – 0,8	- -	- -	- -	+ +	+ +	* +	+ +

Здесь T_g – температура газа, π_n , π_b , π_Σ – степени повышения давления в КНД, КВД, суммарная, G_b – расход воздуха, B – расход топлива, n_n – частота вращения ротора КНД

Таблица 6

Относительные изменения параметров ГТД при появлении рассматриваемых неисправностей

Вид неисправности	Изменения температуры газа δT_g , %	$\delta \pi_n$, %	$\delta \pi_b$, %	$\delta \pi_\Sigma$, %	δG_b , %	δB , %	δn_n , %	δ
Солевой занос КНД и др.	1 3	-2,6 -7,8	* 1,5	-2,2 -6,5	-2,6 -7,8	-2,0 -2,6	* -0,8	
Солевой занос ТВД и др.	1 3	* *	0,9 0,9	0,9 2,8	1,0 3,1	0,7 2,0	* 1,3	
Протечки воздуха из КНД	1 3	-1,8 -5,6	1,7 5,1	-1,2 -3,6	-1,0 -2,9	-1,1 -3,4	0,5 1,6	
Протечки воздуха из КВД	1 3	-2,6 -2,7	-1,6 -4,0	-4,0 -11,8	-4,7 -14,2	-2,5 -7,4	* -0,6	
Протечки газа за ТНД	-1 -3	2,6 7,7	-1,1 -3,3	1,2 3,5	1,8 5,6	* 0,5	1,1 3,4	

Наряду с контролем за состоянием характеристик ГТД в процессе эксплуатации проводились испытания на специальных стендах. В филиале ЦНИИ им. А.Н. Крылова были проведены испытания двигателя с двухкаскадным компрессором. Для этих расширенных испытаний разработчиком ГТД была сделана специальная «препарация» двигателя, позволяющая имитировать ряд неисправностей и контролировать их влияние на характеристики двигателя.

Имитировались: солевой занос проточной части компрессора низкого давления и другой последующей проточной части; солевой занос турбины высокого давления и последующей проточной части; протечки воздуха из КНД; из КВД; протечки газа за ТНД.

Солевой занос КНД и других элементов обеспечивался распылением морской воды перед ВОУ двигателя. Солевой занос ТВД и других элементов обеспечивался подмешиванием солей в топливо.

Протечки воздуха из КНД имитировались открытием отборов воздуха за КНД, протечки воздуха из КВД – открытием одного из антипомпажных клапанов на камерах горения.

Протечки газа из ТНД имитировались открытием клапанов перепуска газа между ТНД и силовой турбиной.

В табл. 5 приведены результаты испытаний с указанными видами неисправностей и показаны направления изменения параметров: + увеличение, – уменьшение, незначимое изменение * для каждого. В отдельных случаях параметры изменялись в зависимости от режима работы ГТД.

В табл. 6 показаны относительные изменения параметров двигателя при наличии рассматриваемых неисправностей. Изменения отнесены к текущим абсолютным значениям параметров, полученным в процессе испытаний.

Испытаниям с подачей на вход двигателя воздуха с брызгами морской воды были подвергнуты и двухконтурные ГТД с компрессорами низкого и высокого давления. На рис. 4 и рис. 5 показаны изменения параметров двигателя в результате солевых отложений в проточной части.

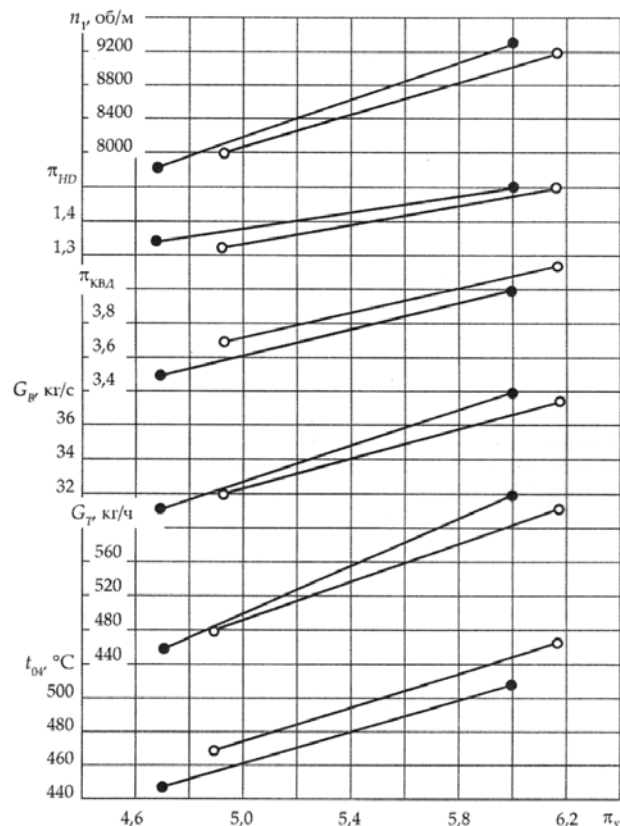


Рис. 4. Изменение параметров двухконтурного ГТД при солевом заносе проточной части. Сравнение при одинаковых значениях общей степени повышения давления
—●— исходная характеристика, —○— после солевого заноса проточной части

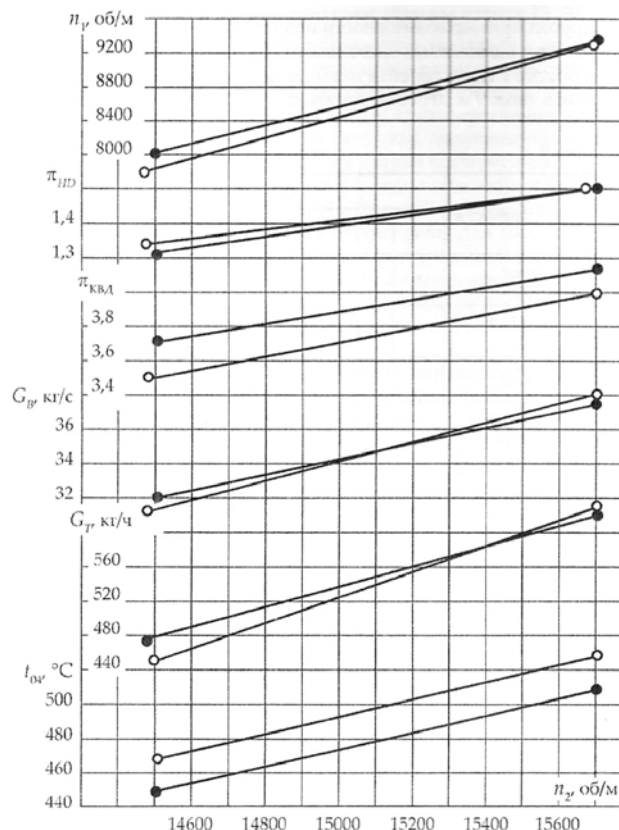


Рис. 5. Изменение параметров двухконтурного ГТД при солевом заносе проточной части. Сравнение при одинаковых значениях частоты вращения ротора КВД
—●— исходная характеристика, —○— после солевого заноса проточной части

Для сравнения на этих рисунках представлены результаты изменения параметров при одинаковых значениях частоты вращения компрессора высокого давления n_2 (рис. 4) и при одинаковых значениях суммарной степени повышения давления π_{Σ} (рис. 5). В результате при одинаковых значениях π_{Σ} получена более определенная однозначная картина изменения параметров во всем диапазоне режимов.

Изменения параметров этого ГТД с двухкаскадным процессом повышения давления оказались аналогичными изменению параметров однокаскадного двигателя с двухкаскадным процессом повышения давления (табл. 5)

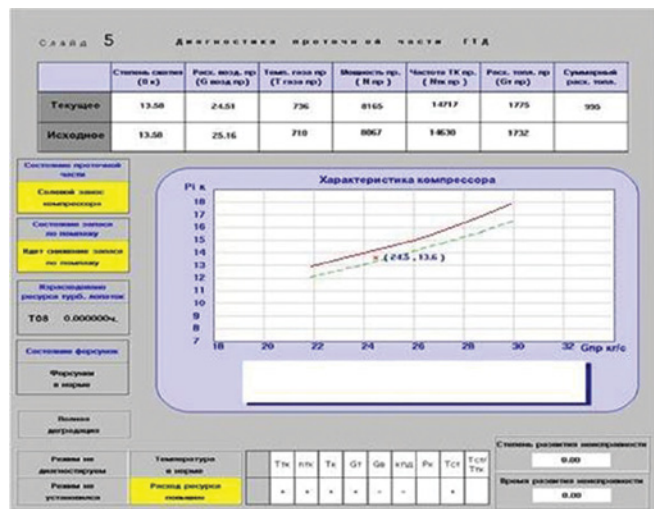


Рис. 6. Слайд параметрического диагностирования ГТД с однокаскадным компрессором со свободной силовой турбиной

Одной из целей исследования изменения характеристик двигателя в условиях эксплуатации являлось получение возможности проектирования системы параметрического диагностирования ГТД. На рис. 6 показан слайд параметрического диагностирования ГТД с однокаскадным компрессором со свободной силовой турбиной.

Для работы системы проводятся испытания по снятию исходных характеристик, которые остаются неизменными до каких-либо изменений в проточной части.

В верхней части таблицы на рис. 6 представлены значения параметров текущего режима работы и эти же параметры для исходного состояния ГТД. Параметры исходного режима приведены при текущем значении степени повышения давления π_k .

Исходная характеристика в виде режимной линии приведена на характеристике компрессора в центре слайда. На характеристике компрессора нанесена рабочая точка, меняющая свое положение в соответствии с режимом работы. Возможные изменения параметров отражены в таблице внизу рис. 6.

Все это дает возможность визуально оценивать работу двигателя и наличие изменений в его состоянии.

В приведенном примере на ГТД измеряются кроме обычных параметров давления воздуха полное и статическое перед компрессором, температура газа за ТВД и за силовой турбиной, расход топлива. Это дало возможность оценивать расход воздуха через двигатель и его мощность.

На характеристику компрессора наносится ограничительная линия, которая показывает возможность изменения запаса устойчивой работы компрессора. Эта же линия практически совпадает с линией допустимого изменения температуры газа вследствие неисправностей в рассматриваемом ГТД. Запас газодинамической устойчивости работы компрессора в эксплуатации не проверяется.

На рис. 6 отражена работа автоматического диагностирования отдельных элементов проточной части двигателя. Оценивается состояние проточной части, наличие протечек воздуха и газа из проточной части, состояние топливных форсунок и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ солевых испытаний морских ГТД с одно- и двухкаскадным компрессором.

2. Предложены критерии и система параметрического диагностирования состояния ГТД, работающего в морских условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петренчук О.П. Экспериментальные исследования атмосферного аэрозоля. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 264 с.
2. Багерман А.З. Обеспечение надежной эксплуатации газотурбинных двигателей в морских условиях: Монография. – СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2010. – 132 с.
3. Багерман А.З., Леонова И.П., Берденников А.А. Закономерности изменения характеристик осевых компрессоров под влиянием солевых отложений //Турбины и компрессоры/ОАО «Невский завод». – 2005. – №1,2. – С.36–38.
4. Багерман А.З. Параметрическая диагностика газотурбинных двигателей. – СПб.: ЦНИИ им. Акад. А.Н. Крылова, 2012. – 94 с.
5. Багерман А.З., Гартвиг В.В., Гусева В.И., Кривенко А.А. Одновременное влияние нескольких эксплуатационных повреждений проточной части газотурбинного двигателя на изменение его характеристик. //Судостроительная промышленность. – Сер.: Судовые энергетические установки. – 1988. – Вып. 2. – С. 30 – 36.
6. Новые подходы к диагностированию неисправностей газотурбинных двигателей/ Багерман А.З., Гусева В.И., Леонова И.П., Копылов Д.Г., Макарищев В.Ф.//Судостроение. – 1995. – №2–3. – С. 31 – 34.
7. Багерман А.З., Боброва М.Е., Тимофеев В.В. Прогнозирование изменения характеристик двухконтурных двигателей при солевом заносе проточной части и коррозии лопаточного аппарату турбин. //Судостроительная промышленность. – Сер.: Судовые энергетические установки. – 1988.-- Вып. 4. – С. 49 – 52.
8. Леонова И.П., Багерман А.З., Конопцова А.В. Комплексный подход к диагностированию газотурбинных двигателей. //Газотурбинные технологии. – 2018. – Январь–февраль. – С.16 – 17. ■

Валопровод – связующее звено между главным двигателем и гребным винтом (движителем) судна. Он состоит из системы валов (гребной, промежуточный, упорный), которые расположены на одной оси (рис. 1). Валопровод передает крутящий момент от главного двигателя к гребному винту и воспринимает осевое усилие от гребного винта к корпусу судна через упорный подшипник. Он опирается на дейдвудные и промежуточные подшипники [8]. Их количество и расположение относительно друг друга зависят от конструктивных особенностей, размеров и общей длины самого валопровода. Сам дейдвудный подшипник представляет собой подшипник скольжения, который состоит из корпуса с расположенным внутри антифрикционным материалом. Антифрикционный материал, по которому вращается гребной вал, может располагаться внутри корпуса в виде втулок или вкладышей. Имеются суда, где общая длина судового валопровода может быть свыше 10 м.

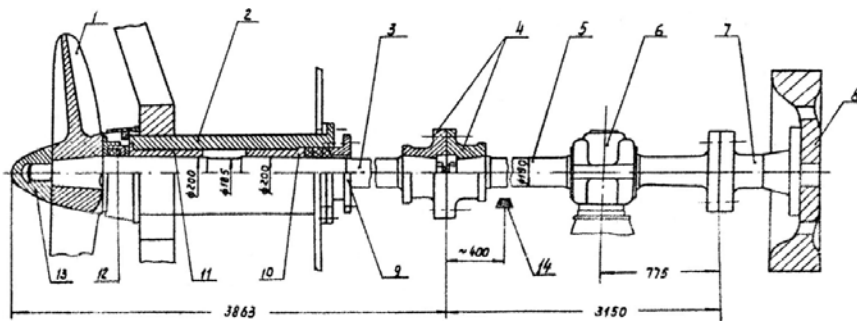


Рис. 1. Валопровод СРТ-Р 90-й серии
1 – гребной винт; 2 – дейдвудная труба; 3 – гребной вал; 4 – полумуфты; 5 – промежуточный вал; 6 – опорный подшипник; 7 – проставочный вал (коротыш); 8 – маховик двигателя; 9 – сальник дейдвуда; 10 – носовая дейдвудная втулка; 11 – кормовая дейдвудная втулка; 12 – сальник; 13 – гайка-обтекатель; 14 – монтажный подшипник

Самым нагруженным подшипником в системе валопровода является кормовой дейдвудный подшипник, который располагается ближе к гребному винту. Именно консольное расположение гребного винта и действие внешних переменных и циклических нагрузок приводят к неравномерной нагруженности подшипника по его длине. То есть возникает «фиктивная» длина контакта между гребным валом и сами кормовым дейдвудным подшипником. А это приводит к напряженно-деформированному состоянию самого валопровода и ускоренному износу антифрикционного материала [4,5].

С учетом условий эксплуатации судна и геометрических параметров гребного вала для изготовления дейдвудных подшипников используется большое количество антифрикционных материалов: капрон, капрон, резина, текстолит, баббит и т. д.

Имеется ряд работ, где указывается на применение втулок или вкладышей для подшипников, изготовленных из древесины. Одним из таких первых неметаллических природных материалов, который использовался для дейдвудных подшипников, был бакаут. Бакаут, или гваяковое (железное) дерево,

имеет смолистую древесину с плотным диагональным переплетением волокон, благодаря чему он трудно поддается раскалыванию. Содержит в ядровой части от 18 до 22% (иногда до 26%), а в наружных частях 2–3% гваяковой смолы, которая растворима в спирте, ацетоне, а также в щелочах и является прекрасной смазкой при трении. На вид смола темно-бурого или красно-бурого цвета, на воздухе темнеет [2].

Имеется ряд нормативной и регламентирующей документации, где указываются механические свойства, вид, исполнение и геометрические размеры дейдвудных подшипников с антифрикционным материалом бакаут. Одними из таких документов являются:

- ОСТ 5.5154–74 «Подшипники скольжения и сальники гребных валов. Типы, основные размеры и технические требования» [6];
- РТМ 31.5004–75 «Подшипники скольжения гребных валов из неметаллических материалов. Технико-эксплуатационные требования к материалам, изготовлению и эксплуатации» [7].

Общий вид дейдвудного подшипника с набором вкладышей из бакаута по схеме «бочка» представлен на рис. 2. Высота вкладышей составляет 28 мм, ширина – не более 65 мм. Их количество внутри корпуса подшипника зависит от диаметра гребного вала с учетом облицовочного покрытия и может насчитывать от 250 до 820 мм.

Набор самих вкладышей в подшипниках рекомендуется выполнять в шахматном порядке. Установочный зазор в дейдвудном подшипнике определяют из следующего выражения:

$$S_{\text{бак}} = 0,001d_{\text{гр}} + 0,5, \quad (1)$$

где $S_{\text{бак}}$ – установочный зазор, $d_{\text{гр}}$ – диаметр гребного вала.

Вырубаются гваяковые деревья ограниченно, так как эти виды находятся на грани исчезновения. Из-за резкого сокращения вида разрешено использо-

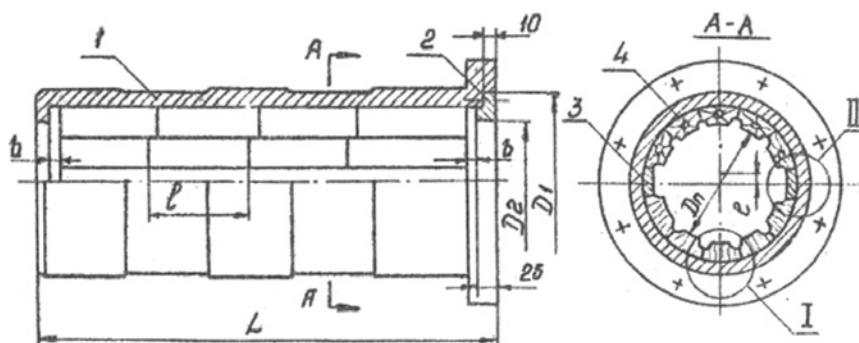


Рис. 2. Общий вид дейдвудного подшипника неразъемного [6]
1 – втулка; 2 – крышка; 3 – упорная планка; 4 – вкладыш

вать древесину не моложе 30-летнего возраста.

К заменителям древесины бакаута относят следующие виды пород [2, 12]: самшит, дуб, фисташка, береза, клен. В табл. 1 представлены основные физико-механические параметры свойств вышеприведенных пород древесины [2,11,12].

Для дальнейшего применения вкладышей в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54912–2012 «Древесина модифицированная для подшипников скольжения. Технические условия» [3] предлагаем использовать прессованную древесину березы. Для дейдвудных втулок и вкладышей [6] рекомендуется использовать прессованную древесину березы

плотностью 1250–1300 кг/м³, которая по износостойкости не уступает бакауту, работает на самосмазке, за счет глубокой автоклавной пропитки антифрикционными маслами поглощает в себя абразив и успешно работает в сложных климатических условиях, что обеспечивает увеличенный ресурс работы втулок. Механические свойства прессованной древесины березы представлены в табл. 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение прессованной древесины березы позволит заменить древесину бакаута для изготовления вкладышей дейдвудных подшипников, которые могут работать как в речной, так и морской воде. Благодаря механичес-

ким свойствам прессованная древесина березы выдерживает высокие нагрузки (постоянные, динамические, циклические). Особенно это важно для кормового дейдвудного подшипника. Изготовить вкладыши из прессованной древесины березы можно с использованием стандартного станочного парка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов А.А. влияние отрицательных температур на твердость прессованной древесины // Лесной журнал. – 2010. – № 6. – С. 133–137.
2. Бабанин В.Ф., Соков Е.В. К вопросу о замене бакаута // Судостроение. – 1989. – № 10. – С. 32–37.
3. ГОСТ 24329–80. Древесина модифицированная. Способы модифицирования. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.
4. Лубенко В.Н., Вязовой Ю.А. Монтаж судовых валопроводов. – СПб.: Судостроение, 2007. – 400 с.
5. Балацкий Л.Т., Бегагоен Т.Н. Эксплуатация и ремонт дейдвудных устройств морских судов. – М.: Транспорт, 1975. – 160 с.
6. ОСТ 5.5154–74. Подшипники скольжения и сальники гребных валов. Типы, основные размеры и технические требования. – Введ. 1989–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 43 с.
7. РТМ 31.5004–75. Подшипники скольжения гребных валов из неметаллических материалов. Технико-эксплуатационные требования к материалам, изготовлению и эксплуатации. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200001411> (дата обращения: 12.10.2020).
8. Румб В.К. Прочность судового оборудования. Конструирование и расчеты прочности судовых валопроводов: учебник. – СПб., 2008. – 298 с.
9. Филиппов М.В., Шешуков О.Ю. Трение и антифрикционные материалы: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. унта, 2021. – 204 с.
10. Халявкин А.А., Мамонтов В.А., Лошадикин Д.В., Макеев С.А., Шацков Д.О., Саламех А. Исследование поперечных колебаний судовых валопроводов: Монография. – Типография Каспийского ин-та морского и речного транспорта имени ген.-адм. Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2020. – 73 с.
11. Шамаев В.А. Подшипники скольжения из модифицированной древесины // Вестник машиностроения. – 2010. – № 7. – С. 45–48.
12. Шамаев В.А., Никулина Н.С., Медведев И.Н. Модифицирование древесины. – Воронеж: Изд. ВГЛУ, 2022. – 570 с. ■

Таблица 1

Физико-механические свойства пород древесины

Материал	Плотность, кг/м ³	Предел прочности, МПа		Твердость, МПа		
		При сжатии вдоль волокон	При статич. изгибе	торц.	рад.	танг.
Бакаут	1300	72,6	–	152	134	–
Береза железная	980	77,6	134,9	–	114,9	–
Фисташка	1120	75,8	109,6	119,4	105,8	94,7
Самшит	970	72,4	105,9	143,3	131,7	129,7
Клен	710	54,0	109,1	54,9	42,2	39,2
Дуб	710	50,8	102,2	60,8	52,1	–

Таблица 2

Механические свойства прессованной древесины березы [11,12]

Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Предел прочности, МПа			Удельная работа при ударном изгибе, Дж·10 ³ /м ²	Торцовая твердость, МПа
		При сжатии вдоль волокон	При скалывании вдоль волокон	При статическом изгибе		
1250	7,8–9,4	131,0–146,0	23,2–26,3	175,0–230,0	0,69–0,72	170
1300	8,5–8,7	134,0–144,0	22,0–24,0	253,0–360,0	0,730–0,89	190

На первый взгляд, судовой валопровод, т.е. несколько валов, соединенных в единую линию, представляет собой простую конструкцию и поэтому не заслуживает повышенного внимания. Однако эта простота кажущаяся. Опыт эксплуатации судов свидетельствует: нарушение работоспособности валопровода резко ухудшает эксплуатационные показатели судна, а фиксируемые до сих пор поломки валов и трещины в гребных валах не являются большой редкостью, при этом количество поломок растет с увеличением диаметра валов [5, 9]. Понятно, что поломка вала приводит к аварийным ситуациям с угрозой для жизни экипажа, сохранности груза и судна в целом. Ремонты валопровода также связаны с большими экономическими потерями в связи с необходимостью вывода судна из эксплуатации и постановки его в док. Все это свидетельствует о значимости и важности судовой валопровода и о том, что его конструкция и расчеты прочности должны гарантировать заданную долговечность. Иначе говоря, от качества конструирования и корректности расчетов во многом зависят безотказность судовой движительного комплекса и безопасность эксплуатации судна.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СУДОВОГО ВАЛОПРОВОДА

Проблема прочности и долговечности судовых валопроводов заключается в многообразии факторов, вызывающих напряженно-деформированное состояние его валов. В настоящее время сложилось единое мнение о том, что аварии валопровода наступают вследствие разрушения материала валов под действием переменных напряжений. Под влиянием этих напряжений идет процесс постепенного накопления усталостных повреждений, приводящих к образованию и развитию трещин до полного разрушения вала. Кроме известных напряжений от передаваемых валопроводом крутящего момента и упора, он испытывает переменные напряжения от крутильных, осевых и изгибных колебаний, а также от неточности центровки и изгиба корпуса судна на волнении. Часто эти побочные напряжения настолько большие, что становятся основной причиной появления усталостных трещин.

Таким образом, основным видом оценки прочности судовой валопровода является расчет выносливости. Данный расчет учитывает переменный характер действующих напряжений и, следовательно, базируется на явлении усталости материала. Под усталостью материала понимаем необратимый процесс зарождения трещины и ее рост до критических размеров под действием циклических напряжений. Методические положения расчета подробно изложены в [6]. Здесь лишь напомним: конечная цель расчета сводится к определению коэффициентов запаса прочности для мест с ярко выраженными концентраторами напряжений и сопоставления их с допустимым значением. Деталь считается работоспособной, если для всех опасных мест выполняется неравенство

$$n > n_{\min},$$

где n и n_{\min} – расчетный и минимально допустимый коэффициент запаса прочности соответственно.

Что касается инженерных расчетов долговечности, то они базируются на известной экспериментальной кривой усталости (кривой Велера), которую принято аппроксимировать уравнением

$$N = N_B (\sigma_{-1} / \sigma)^m, \tag{1}$$

где N_B – базовое число циклов нагружения, соответствующее пределу выносливости σ_{-1} , для многоциклового усталости $N_B = 10^7$ циклов; σ – расчетное напряжение.

Входящее в (1) отношение напряжений представляет собой не что иное, как запас прочности. С учетом этого, а также того,

УЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДОВ

*В.К. Румб, канд. техн. наук, проф.,
Хтоо Наниг Аунг, аспирант, СПбГМТУ,
контакт. тел. +7(911) 915 3041*

что каждый цикл нагружения совпадает с одним оборотом гребного винта, долговечность, выраженная в часах работы, будет

$$T = T_B (n/n_{\min})^m.$$

В действительности не так все просто, потому что эксплуатируется судно на различных режимах, соответственно, оценивать долговечность валопровода надо для каждого режима в отдельности и при этом учитывать действующие напряжения и длительность t_i работы на режиме. Все это удастся учесть, пользуясь скорректированной гипотезой линейного суммирования повреждений, предложенной В.П.Когаевым [4]. Согласно данной гипотезе, долговечность деталей в условиях их многорежимного нагружения может быть определена из уравнения [7]

$$T = \frac{T_B a_p}{\sum_{i=1}^r \frac{x_i}{(n_i/n_{\min})^m}}, \tag{2}$$

где x_i – доля времени работы на i -м режиме, $x_i = t_i/T$, причем $\sum_{i=1}^r x_i = 1$; r – количество эксплуатационных режимов.

Величина a_p , входящая в (2), является корректирующей поправкой известной гипотезы Пальмгрена–Майнера. Для напряженного состояния, которое задается коэффициентами запаса прочности,

$$a_p = \sum_{i=1}^r \frac{n_{\min}^* / n_{\min}}{n_i / n_{\min}} x_i,$$

где n_{\min}^* – минимальное значение коэффициента запаса прочности из совокупности n_i .

Таким образом, формула (2) позволяет рассчитать полную длительность работы вала в часах до появления усталостной трещины критических размеров или поломки. Она устанавливает соотношения между долговечностью вала, вероятностью его неразрушения, расчетными коэффициентами запаса прочности и законами распределения прочности материала и действующих напряжений. Вычисления по данной формуле не являются тривиальными, поскольку для их реализации требуется предварительно выполнить расчет на выносливость, определить коэффициент запаса прочности и подсчитать его минимально допустимое значение. Все это надо проделать для каждого эксплуатационного режима в отдельности.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СУДОВОГО ВАЛОПРОВОДА В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ НАГРУЖЕНИЯ

Приведенные выше рассуждения о долговечности валов судовой валопровода справедливы для стационарного накопления усталостных повреждений. Другими словами, полагали, что в пределах каждого эксплуатационного режима параметры переменных напряжений или их средние значения остаются неизменными. Между тем, из теории известно: движение судна с заданной скоростью сопряжено с преодолением возникающего при этом сопротивления. Зависимость сопротивления от скорости довольно сложная, на нее оказывает влияние множество факторов. Среди них неконтролируемыми по своей сути являются: волнение моря, порывы ветра, переменная глубина фарватера,

удары лопастей гребного винта со льдом и т.п. Эти воздействия вызывают случайные изменения нагрузки на валопровод, соответственно, и стохастические напряжения в его валах. С учетом этих уточнений долговечность на основании упомянутой гипотезы суммирования повреждений следует определять по формуле

$$T = \frac{a_p}{\sum_{i=1}^r F(\sigma)_i / T_i}, \quad (3)$$

где $F(\sigma)_i$ – вероятность появления за время x_i/T напряжений, превышающих не только расчетные при статическом нагружении, но и предел выносливости детали, но меньших предела текучести.

Ограничения по σ_T обусловлены появлением в материале упругопластических деформаций, оценить которые можно с помощью существующих деформационных критериев механики нелинейного разрушения.

Таким образом, зависимость (3) справедлива для мест вала с наибольшей напряженностью, учитывающей концентрацию напряжений, масштабный фактор, состояние поверхности, а также возможные перегрузки. В этом смысле формула (3) позволяет учитывать эпизодическое действие рабочих напряжений в виде случайных выбросов.

Предельная длительность i -го эксплуатационного режима до появления усталостного разрушения определяется кривой усталости. Как и раньше, ее будем описывать уравнением, которое непосредственно вытекает из (1):

$$T(\sigma) = T_B (\sigma_{-1} / \sigma)^m. \quad (4)$$

После подстановки (4) в уравнение (3), последующей замены суммы интегралом, вероятности $F(\sigma)_i$ ее дифференциальной величиной $f(\sigma)_i d\sigma$ получим

$$T_i = \frac{x_i T a_p}{\int_{\sigma}^{\sigma_i} \frac{f(\sigma)_i}{T(\sigma)} d\sigma}. \quad (5)$$

Согласно многим литературным источникам, рассеивание напряжений относительно их среднего значения чаще всего подчиняется распределению Вейбулла. Применение этого распределения оправдано также тем, что оно гибкое: в зависимости от параметров может принимать любые другие вероятностные законы. Для двухпараметрического закона Вейбулла функция и плотность распределения имеют вид

$$F(\sigma) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{a}\right)^b\right];$$

$$f(\sigma) = \frac{b}{a} \left(\frac{\sigma}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{a}\right)^b\right],$$

где a и b – параметры распределения Вейбулла, подробные сведения о них приведены в [3].

При данных выражениях распределения Вейбулла ожидаемую долговечность i -го режима в условиях нестационарного нагружения валопровода, согласно (5), можно подсчитать по формуле

$$T_i = x_i T a_p T_B \left\{ 1 - \frac{(\sigma_{-1}/\sigma)^m}{\Gamma\left[(1+b/m), (\sigma_{-1}/b)^a\right]} \right\}, \quad (6)$$

где $\Gamma\left[(1+m/b), (\sigma_{-1}/b)^a\right]$ – неполная гамма-функция, в символьном виде подсчитывается

$$\Gamma(c, d) = \int_d^{\infty} z^{c-1} \exp(-z) dz.$$

Для упрощения вычисления данную функцию рекомендуется представить в виде [1]

$$\Gamma(c, d) = \Gamma(c) \Phi(2c, 2d),$$

где $\Phi(2c, 2d)$ – квантиль χ^2 -распределения; $\Gamma(c)$ – гамма-функция, численно равна интегралу Эйлера:

$$\Gamma(c) = \int_d^{\infty} e^{-z} z^{c-1} dz.$$

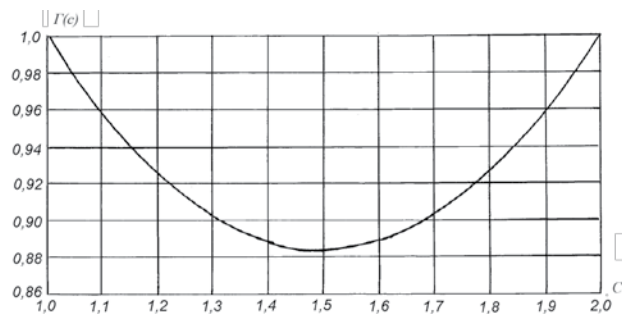


Рис. 1. Значения гамма-функции

Для оперативности расчетов целесообразно определять $\Gamma(c)$ по графику, построенному по соответствующим таблицам и показанному на рис. 1. Обратим внимание: аргумент с гамма-функции находится в диапазоне 1÷2, что, по опытным данным, является вполне достаточным при расчете усталостной долговечности с учетом случайного характера изменения действующих напряжений. Если аргумент с не входит в указанный диапазон, то $\Gamma(c)$ подсчитывается по приведенной выше формуле.

С учетом отмеченного выражение (6) можно переписать так [8]:

$$T_i = x_i T a_p T_B \left\{ 1 - \frac{(\sigma_{-1}/\sigma)^m}{\Gamma(1+b/m) [P(\chi_{\sigma_{-1}}^2, k) - P(\chi_{\sigma}^2, k)]} \right\}. \quad (7)$$

Вероятности, входящие в (7), находятся из таблиц χ^2 -распределения, например, из таблицы Д [2], в зависимости от полученных расчетным путем аргументов:

$$\chi_{\sigma_{-1}}^2 = 2(\sigma_{-1}/a)^b; \quad \chi_{\sigma}^2 = 2(\sigma/a)^b; \quad k = 2(1+m/b).$$

Для удобства расчетов табличные данные $P(\chi^2, k)$ представлены здесь в виде кривых на рис. 2. По сравнению с исходной таблицей на рисунке приведены кривые, которые отражают область практического применения данного распределения.

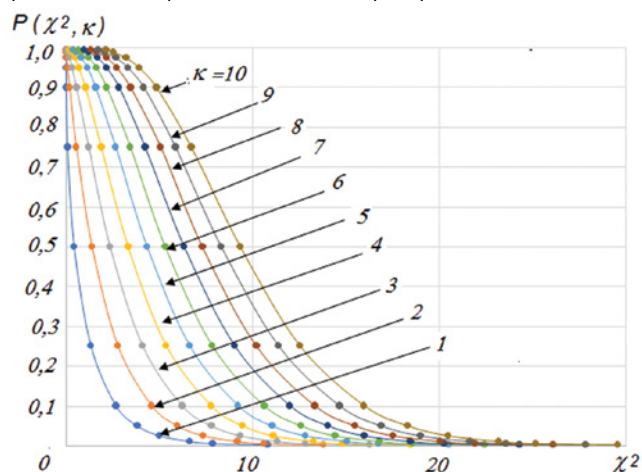


Рис. 2. Вероятностные значения χ^2 распределения

Подобным образом получают расчетные формулы и при других законах изменения действующих напряжений. Так, если изменение расчетных напряжений подчиняется экспоненциальному распределению, для которого интегральная и дифференциальная функции задаются уравнениями

$$F(\sigma) = 1 - \exp(-\lambda \sigma) \quad \text{и} \quad f(\sigma) = \lambda \exp(-\lambda \sigma),$$

где λ – параметр, связанный с математическим ожиданием μ_{σ} и среднеквадратическим отклонением S_{σ} зависимостью $\lambda = 1/\mu_{\sigma} = 1/S_{\sigma}$.

При данном распределении интересующаяся долговечность выражается простой формулой [1]

$$T_i = x_i T a_p T_B \left\{ 1 - \frac{(\sigma_{-1}/\sigma)^m}{\Gamma(1+b/m), (\sigma_{-1}/\sigma)} \right\}. \quad (8)$$

Применимость экспоненциального распределения при решении задач прочности объясняется тем, что, несмотря на сложность

и многообразии нагрузок, их действие отвечает простейшему потоку событий, при котором вероятность действия одного фактора не зависит от действия других.

Рассмотрим еще один случай, когда распределение напряжений подчиняется логарифмически нормальному закону. Исходя из имеющихся сведений, данное распределение часто применяется для описания случайного процесса нагружения в судовых машинах и механизмах. Плотность логарифмически нормального распределения описывается уравнением

$$f(\sigma) = \frac{1}{2\pi b} \exp\left[-0,5\left(\frac{\ln \sigma - c}{b}\right)^2\right] d\sigma,$$

где b и c – параметры распределения, сведения о них приведены в [6].

При данной зависимости логарифмически нормального распределения и кривой усталости, которая по-прежнему выражается уравнением (4), искомая долговечность

$$T_i = x_i T_a T_B \left\{ 1 - \frac{\sigma_{-1}^m}{\exp(c + 0,5m^2 b^2) \left[1 - \Phi\left(\frac{U_p}{b\sqrt{2}} - \frac{mb}{\sqrt{2}}\right) \right]} \right\}. \quad (9)$$

Здесь U_p – квантиль нормированного нормального распределения, $U_p = (\ln \sigma - c)/b$; $\Phi(x)$ – функция нормированного нормального распределения (функция Лапласа), в книгах по надежности представлена в таблицах, например, в таблице Г [2].

Отметим, долговечности, подсчитанные по формулам (7), (8) и (9), являются случайными числами, поскольку параметры законов распределения напряжений от волнения моря или ударов лопастей винта о плавающие льдины имеют значительные разбросы. Для иллюстрации случайности проведено расчетное исследование с целью определения того, как влияют параметры закона Вейбулла на относительную долговечность, равную

$$\frac{T_i}{x_i T_a T_B} = \left\{ 1 - \frac{(\sigma_{-1}/a)^m}{\Gamma(1+b/m) [P(\chi_{\sigma_{-1}}^2, k) - P(\chi_{\sigma}^2, k)]} \right\}.$$

При выполнении расчетов принимали: предел текучести гребного вала $\sigma_T = 68$ МПа, предел выносливости $\sigma_{-1} = 45$ МПа, действующее напряжение $\sigma = 56$ МПа, коэффициент вариации напряжений $\Theta_\sigma = 0,25$, показатель степени кривой усталости $m = 10$. При этих исходных данных параметры распределения Вейбулла

$$b = 1,0379 \cdot 0,25^{-1,07} = 1,037 \cdot 0,25^{-1,07} = 4,571; \\ a = \frac{\sigma}{\Gamma(1+b/m)} = \frac{56}{\Gamma(1+4,571/10)} = \frac{56}{\Gamma(1,457)} = \frac{56}{0,886} = 63,205.$$

Значение гамма-функции, равное 0,886, определено по рис. 1 для аргумента $c=1,457$.

Параметры χ^2 распределения:

$$\chi_{\sigma_{-1}}^2 = 2(\sigma_T/a)^b = 2(45/63,205)^{4,571} = 0,423; \\ \chi_{\sigma}^2 = 2(\sigma/a)^b = 2(56/63,205)^{4,571} = 2,794; \\ k = 2(1+m/b) = 2(1+10/4,571) = 6,375 \approx 6.$$

В итоге имеем

$$\frac{T_i}{x_i T_a T_B} = 1 - \frac{(45/63,205)^{10}}{0,886 [0,997 - 0,856]} = 0,732.$$

Здесь вероятности $P(0,423;6) = 0,997$ и $P(2,794;6) = 0,856$ приняты на основании рис. 2.

Полученное снижение долговечности на 27%, хотя и представляется значительным, однако вполне объяснимо и является следствием двух факторов. Во-первых, коэффициент вариации, который отражает разброс действующих напряжений, принят достаточно большим, и, во-вторых, эти напряжения превышают предел выносливости, что эквивалентно малоциклового усталости. Собственно, этим объясняется небольшая величина принято-

го показателя степени кривой усталости. Как известно, оба эти фактора уменьшают усталостную долговечность.

Результаты расчетов при парциальном влиянии коэффициента вариации напряжений и показателя степени кривой Велера отображены на графиках, приведенных на рис. 3. Анализ этих графиков позволяет сделать вполне ожидаемые выводы. Во-первых, нестационарность действующих напряжений вызывает снижение усталостной долговечности тем сильнее, чем больше коэффициент вариации. Во-вторых, как при стационарном, так и при нестационарном нагружении долговечность в значительной мере зависит от показателя степени кривой усталости: с уменьшением показателя долговечность также уменьшается. Этим еще раз доказывается исключительная роль данного показателя степени на усталостную долговечность.

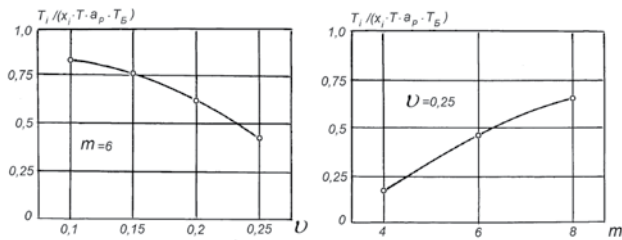


Рис. 3. Зависимость относительной долговечности от коэффициента вариации напряжений и показателя степени кривой усталости

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отметим, учет нестационарного нагружения судового валопровода при оценке его долговечности не относится к простой арифметической операции. Трудности связаны с необходимостью итерационных расчетов, в результате которых искомая долговечность уточняется. Сначала долговечность определяется по методике, изложенной в первом разделе. Далее при необходимости для каждого или отдельно взятого эксплуатационного режима вычисляются долговечности с учетом нестабильности действующих напряжений. Особенности этого расчета связаны с выбором вероятностного закона для напряжений и заданием их параметров. При отсутствии опытных данных, достаточных для статистической обработки, законы распределения задаются формально. В конечном счете, сумма вновь полученных долговечностей дает полную усталостную долговечность наиболее напряженного места судового валопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А.С. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках. – М.: Машиностроение, 1989. – 248 с.
2. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. – М.: Мир, 1980. – 511 с.
3. Ефремов Л.В. Практика инженерного анализа надежности судовой техники. – Л.: Судостроение, 1980. – 176 с.
4. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
5. Меркулов В.А., Пасуманский Е.М. Обеспечение прочностной надежности гребных валов транспортных судов. – Тез. докла. на Всесоюз. науч.-техн. конфер. «Проблемы повышения надежности судовой техники». – Л.: Судостроение, 1978. – 3 с.
6. Румб В.К. Прочность и долговечность судовых машин и механизмов: учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2014. – 237 с.
7. Румб В.К., Хтоо Нанг Аунг. Идеологические предпосылки перехода от расчетов прочности к прогнозированию долговечности судовых машин и механизмов. // Морской вестник. – 2022. – №1 (81). – С. 40.
8. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность: руководство и справочное пособие. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.
9. Шурьяк В.К., Сергеев А.А. Анализ аварийности на судах с классом регистра // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – 2005. – № 28. – С. 33–46. ■

В настоящей статье представлены основные результаты проектирования экспериментального образца комплексной автоматизированной системы управления (КАСУ) экспериментального образца воздухонезависимой энергетической установки (ВНЭУ) с ЭХГ-генератором, разработанной в рамках технического задания АО «ЦКБ МТ «Рубин» и АО «Концерн «НПО «Аврора».

Данная система управления предназначена для выработки постоянного тока в топливных элементах с целью подзарядки аккумуляторной батареи. В этом и состоит основное отличие рассматриваемой ВНЭУ от других типов подводных энергоустановок. Например, в ОАО «СПМБМ «Малахит» разрабатывается ВНЭУ с газотурбинным двигателем замкнутого цикла (ГТУ ЗЦ).

В отличие от тепловых двигателей замкнутого цикла топливные элементы ЭХГ-генератора требуют для своей работы топливо – водород и окислитель – кислород. Относительно использования кислородной системы в мировой практике проектирования ВНЭУ для НАПЛ сложилась единая практика – это хранение кислорода на борту в криогенном состоянии. Относительно топлива – водорода – ситуация прямо противоположная: он может храниться как газ в интерметаллидах, в криогенном состоянии. Его можно получать на борту НАПЛ из гидридов металлов, например, боргидрида натрия.

Создаваемая ВНЭУ с ЭХГ имеет принципиальное отличие от разработанных ранее подобных энергоустановок. Это выражается в получении водорода на борту НАПЛ из дизельного топлива путем его автотермического риформинга [3, 5, 6].

Риформинг дизельного топлива реализуется при высоких значениях температур – до 1200 °С. Массовая доля водорода, определяемая от запаса возимых на борту реагентов (дизельное топливо, кислород), с учетом использования воды, образующейся в результате электрохимической реакции, составляет ~13%. Глубокая очистка водородосодержащей газовой смеси, получаемой риформингом дизельного топлива, выполняется сепарацией в диффузионном делителе с палладиевыми мембранами, обеспечивающими чистоту продуктового водорода до 99,9999 %.

В результате риформинга дизельного топлива кроме водорода образуется продукт реакции – диоксид углерода, в результате электрохимической

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУХОНЕЗАВИСИМОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ГЕНЕРАТОРОМ

А.Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,

А.В. Балакин, канд. техн. наук, доцент,

А.В. Юшков, аспирант, СПбГМТУ,

контакт. тел. +7 (911) 299 9736, +7 (950) 000 0300

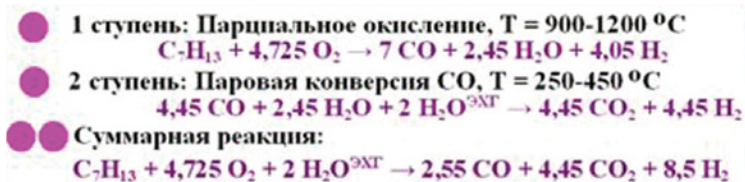


Рис. 1. Химические реакции риформинга дизельного топлива

реакции окисления водорода в ЭХГ – вода [1–4]. Часть воды используется при паровой конверсии монооксида углерода в виде реагента для получения водорода, оставшаяся часть может либо храниться, либо удаляться за борт. Диоксид углерода также может удаляться за борт в виде раствора или храниться в криогенных кислородных емкостях в виде «сухого льда».

Процессы получения водорода отражены на рис. 1:

Процесс получения водорода риформингом дизельного топлива обычно состоит из двух последовательных стадий, а именно получение синтез-газа (газогенерация) и паровой конверсии монооксида углерода. Процесс газогенерации происходит либо по эндотермическому механизму – паровой, или углекислотный риформинг, либо экзо- или автотермическому механизму – парциальное окисление, или автотермический паровой риформинг.

Паровая конверсия монооксида углерода – это экзотермическая реакция, которая начинается на стадии газогенерации параллельно с реакциями парового риформинга и парциального окисления. Негативным моментом этой реакции является то, что для увеличения выхода водорода следует смещать термодинамическое равновесие вправо снижением температуры за счет охлаждения продуктов реакции до рабочей температуры последующей стадии.

Паровая конверсия может быть реализована селективным способом с использованием катализатора при температурах 200 – 450 °С. Подобный процесс относится к средне- и низкотемпературной конверсии. Однако применение метода паровой конвер-

сии позволяет снизить количество монооксида углерода до менее 0,5% по объему.

Поскольку кислородная система относится к общесудовым, основная задача заключалась в автоматизации системы подачи водорода к топливным элементам ЭХГ.

При этом основными параметрами регулирования являлись массовые расходы сред, давления и температуры. Процессы регулирования реализовывались дистанционными автоматическими клапанами и насосами с плавной изменением характеристикой (частотное регулирование).

Эта задача решалась поэтапно с создания имитационной модели и на основании алгоритмов управления комплексной автоматизированной системы управления экспериментального образца ВНЭУ с ЭХГ-генератором.

НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ

КАСУ ВНЭУ предназначена:

- для автоматизированного управления техническими средствами экспериментального образца автономного блока ВНЭУ системами, обеспечивающими его работу и предоставление информации о состоянии исполнительных органов, механизмов и контролируемых параметров в эксплуатационных режимах;
- для автоматического поддержания параметров работы и аварийного вывода из действия с последующим запуском при возникновении нештатных ситуаций. КАСУ ВНЭУ включает:
- систему управления отсеком модулем (далее – СУ ОМ ВНЭУ), ко-

- торая предназначена для управления автономными автоматизированными составными частями ВНЭУ, системами отсека-модуля и системами специального стенда;
- систему управления автономным блоком (далее – СУ АБЛ ВНЭУ), предназначенную для управления техническими средствами автономного блока ВНЭУ и системами; обеспечивающими его работу.
 - систему электропитания (далее – СЭП ВНЭУ), предназначенную для обеспечения электроэнергией с необходимыми параметрами. КАСУ ВНЭУ обеспечивает:
 - автоматическое управление исполнительными органами, механизмами;
 - измерение, сбор, обработку аналоговых, кодированных цифровых и дискретных сигналов от источников информации;
 - представление текущих и вычисленных значений контролируемых параметров на мониторах;
 - формирование аварийно-предупредительной световой и звуковой сигнализации при выходе контролируемых параметров системы за допустимые пределы;
 - просмотр перечня команд, поданных оператором, за выбранный период времени;
 - подсчет наработки управляемых механизмов;
 - просмотр состояния контролируемых параметров за выбранный период времени.
- КАСУ ВНЭУ контролирует исправность:
- аппаратуры;
 - линий связи аппаратуры с исполнительными органами (ИО) и источниками информации (ИИ);
 - сигнализаторов параметров (тестовый контроль).

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КАСУ ВНЭУ

КАСУ ВНЭУ построена на микропроцессорной элементной базе [7]. Структура ее – открытого типа, при необходимости возможно наращивание количества входных и выходных сигналов путем введения дополнительных приборов.

Все применяемые источники информации и исполнительные органы имеют свидетельства и сертификаты.

Управление исполнительными органами при выдаче аппаратурой управляющего сигнала происходит по определенному алгоритму управления. При этом сохранена возможность дистанционного и местного управления исполнительными органами с приоритетом местного над автоматическим и

дистанционным и с сигнализацией о переходе на местное управление.

Ввод команд управления осуществляется с помощью функциональных клавиатур, трекболов, в том числе виртуальных кнопок, расположенных на экранах мониторов.

Задание режимов также реализуется посредством виртуальных кнопок, расположенных на экранах мониторов и клавиатурах.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КАСУ ВНЭУ

Система управления в целом и входящие в нее системы созданы в рамках единой концепции, основанной на следующих основных принципах и положениях:

а) создана как единая квазицентрализованная система, все составные части которой реализованы на единых системотехнических решениях и которая обеспечивает комплексную автоматизацию экспериментального образца ВНЭУ;

б) архитектурно построена как система, имеющая иерархическую многоуровневую структуру, соответствующую технической и организационной структуре экспериментального образца ВНЭУ;

в) применены интегрированные магистральные методы сбора данных и обмена информацией между системами, основанные на использовании цифровых сетевых интерфейсов;

г) основу составляет комплекс программно-технических средств, построенный на современной элементной базе с учетом последних достижений информационных технологий;

д) система в целом и все виды ее обеспечения являются открытыми и приспособленными к модернизации, развитию и наращиванию;

е) функциональные каналы, обеспечивающие управляющие, информационные функции, а также функции аварийно-предупредительной сигнализации (АПС) и защиты выполнены отдельно с учетом источников информации и алгоритмизации;

ж) управляющие, информационные функции, а также функции АПС и защиты обеспечиваются, по возможности, различной аппаратурой систем КАСУ ВНЭУ;

з) при разработке АРМ операторов использован современный человеко-машинный интерфейс, основанный на преимущественном использовании дисплейных средств представления информации и применении информационной поддержки операторов.

Функции, выполняемые КАСУ ВНЭУ: управляющие; информационные; вспомогательные.

К *управляющим* относятся *функции*:

- защиты;
- программно-логического управления;
- автоматического управления;
- дистанционного управления;
- автоматического регулирования;
- местного управления.

Функции технологической защиты обеспечивают формирование управляющих воздействий на оборудование технологических средств с целью предотвращения аварии или ограничения ее последствий при нарушении пределов и (или) условий нормальной эксплуатации или на специальные системы безопасности при нарушении пределов и (или) условий безопасной эксплуатации. Реализуются в соответствии с заданными алгоритмами.

Программно-логическое управление предназначается для организации автоматического или автоматизированного управления агрегатами или функционально связанными группами технологического оборудования и техническими средствами ВНЭУ по заданным алгоритмам.

Задачи программно-логического управления можно разделить на две группы: вводимые в работу автоматически и оператором. Логическое управление строится по иерархическому принципу (реализация приоритетов).

К функциям программно-логического управления относятся также выдача и прием команд и информации в (из) смежные и внешние системы и автоматизированный функциональный и регламентный контроль системы.

Автоматическое управление предусматривает воздействие на оборудование или исполнительные органы от индивидуальных или групповых органов управления, оказываемое ими в соответствии с алгоритмом без участия обслуживающего персонала.

Устройства управления выдают управляющий сигнал, который обрабатывается системой в соответствии с заданными алгоритмами управления, и преобразуется в сигналы управления исполнительных устройств.

Автоматическое управление систем при нормальной эксплуатации имеет более высокий приоритет по отношению к программно-логическому управлению и регулированию.

Дистанционное управление предусматривает воздействие на оборудование или исполнительные органы (ИО) от индивидуальных или групповых органов управления, выполняемое обслуживающим персоналом с АРМ оператора или с местных постов.

Различают следующие виды дистанционного управления:

- индивидуальное (для наиболее ответственных исполнительных органов и оборудования);
- дистанционное автоматизированное адресное управление для остальных ИО и оборудования.

Индивидуальное управление осуществляется, как правило, от отдельных специальных органов.

Для дистанционного автоматизированного управления используются экраны дисплеев, устройства ввода информации и специализированные устройства управления. При выдаче оператором АРМ системы управляющего сигнала он обрабатывается системой в соответствии с заданными алгоритмами управления и преобразуется в сигналы управления исполнительных устройств.

Автоматическое регулирование технологических параметров предусматривает формирование по определенным законам управляющих воздействий на регулирующие органы с целью стабилизации параметров или их изменения в соответствии с алгоритмами работы.

Структура регуляторов обеспечивает также возможность математичес-

кой обработки сигналов (фильтрация, демпфирование, дифференцирование и др.), нелинейного, аналого-цифрового и логического преобразования сигналов, возможность изменения сигнала задания, а также структур регуляторов и параметров их настройки.

Для повышения качества регулирования используются:

- ввод опережающих сигналов по возмущающим воздействиям;
- многоконтурные схемы регулирования (каскадные, со скоростными опережающими сигналами);
- динамические связи между контурами регулирования для компенсации связей через объект регулирования;
- изменение структуры регуляторов при переходе на другой режим работы.

Местное управление исполнительными механизмами (в случае необходимости группами исполнительных механизмов) осуществляется непосредственно с местных постов управления. Имеет приоритет над всеми остальными видами управления, при этом с местного поста управления в КСУ выдается сигнал о переводе управления.

Информационные функции системы включают в себя:

- сбор и первичную обработку аналоговой и дискретной информации от объектов управления;
- формирование информации для отображения ее операторам на пультах управления а также на местных постах управления;
- информационную поддержку операторов;
- регистрацию, архивирование и протоколирование информации;
- регистрацию и обеспечение сохранности информации в аварийных условиях;
- техническую диагностику ТС ВНЭУ.

Сбор и первичная обработка аналоговой и дискретной информации проводятся через устройства связи с объектом. В КАСУ В осуществляется однократный ввод аналоговых и дискретных сигналов и многократное их использование. Для получения аналоговой и дискретной информации используются датчики и сигнализаторы с унифицированным выходом.

Проводится *контроль достоверности* аналоговой и дискретной информации.

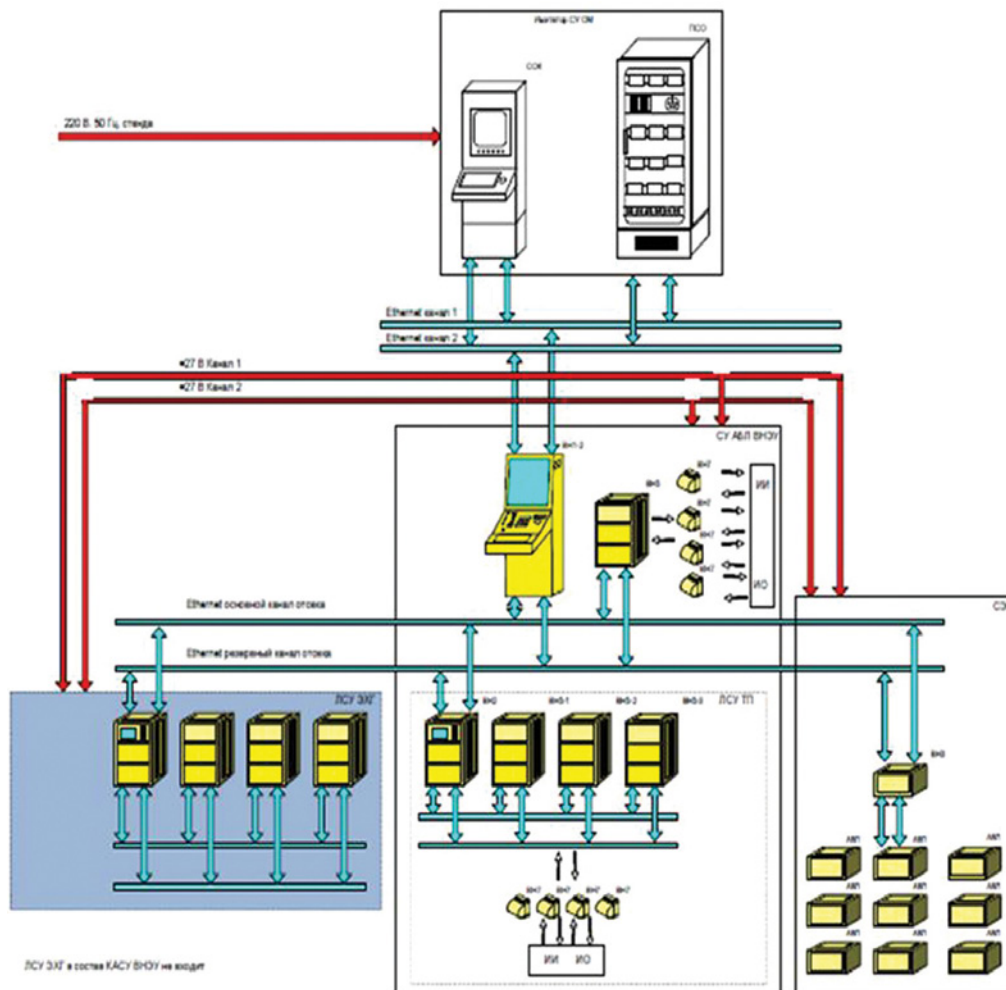


Рис. 2. Структура КАСУ ВНЭУ

Отображается информация на экранах дисплеев в виде мнемосхем, гистограмм, графиков, таблиц, текстовых сообщений и трендов. Информация предоставляется, как правило, от общего к частному.

Для извещения оперативного персонала о возникновении нарушений в протекании технологических процессов, изменений в составе работающего оборудования и его состоянии используется *технологическая сигнализация*, которая предусматривает:

- предупредительную сигнализацию об отклонении параметров и изменении состояния оборудования,
- аварийную сигнализацию, сигнализацию о действии блокировок и об обнаруженных неисправностях оборудования и аппаратуры управления. Для обеспечения высокой надежности восприятия информации оператором широко используются различные виды ее кодирования и определения приоритетов (формой, размером, пространственной ориентацией, цветом, яркостью, частотой мигания, буквенно-цифровое, звуковое сопровождение и т.п.).

Регистрация и архивирование информации предназначены для накопления и последующего представления персоналу данных о протекании технологических процессов, о работе оборудования и систем автоматики и действиях персонала. Архив заполняется при возникновении изменений.

Протоколирование информации осуществляется на электронных энергонезависимых носителях, а также в виде печати бланков, автоматически или по вызову. Основная форма – в виде вахтенного журнала.

Вспомогательные функции КАСУ ВНЭУ:

- диагностика аппаратуры систем;
- защита от несанкционированного доступа в программное обеспечение;
- формирование и ведение базы данных по КАСУ ВНЭУ.

Структурно КАСУ ВНЭУ (рис. 2) представляет собой квазицентрализованную иерархическую многоуровневую распределенную многоконтроллерную систему, выполняющую весь объем функций управления, обработки информации и обмена.

По функциональному признаку КАСУ ВНЭУ разделена на системы, каждая из которых или с высокой степенью автономности управляет определенным комплексом технических средств ВНЭУ или выполняет определенные функции.

Обмен информацией между системами, входящими в состав КАСУ ВНЭУ, осуществляется посредством информационной магистрали.

Таким образом, КАСУ ВНЭУ представляет собой совокупность систем, объединенных сетевыми каналами обмена, функционирующую как единая комплексная система.

Подобный вариант структурного построения существенно облегчает процесс посистемной отладки, испытаний и сдачи на заказ, что особенно актуально, учитывая тот факт, что поставка различных систем управления может осуществляться в разные сроки, а также разными предприятиями-изготовителями.

Также такой вариант обеспечивает наилучшую отказоустойчивость КАСУ ВНЭУ в целом в связи с отсутствием единого узла, обеспечивающего передачу данных и контроль их достоверности.

По вертикали (по иерархическому принципу) в общей структуре управления КАСУ ВНЭУ можно выделить следующие *уровни управления*:

- автономным блоком ВНЭУ в целом (верхний уровень);
- отдельными видами ТС (нижний уровень).

КАСУ ВНЭУ, как уже сказано, представляет собой квазицентрализованную распределенную многопроцессорную систему, связующим центром которой является дублированная магистраль Ethernet, обеспечивающая обмен информацией между АРМ и системами по верхнему уровню сетевого обмена. Системы управления технологическими процессами и отдельными ТС, в свою очередь, также имеют распределенную иерархическую сетевую структуру.

Основным способом обмена информацией в КАСУ ВНЭУ является передача информации в цифровой форме по последовательным каналам обмена. Передача сигналов в другом виде (в виде аналоговых или дискретных сигналов) используется в основном для передачи наиболее важных сигналов

управления и защиты, а также для передачи данных от аналоговых или дискретных источников информации.

Все каналы передачи данных в пределах КАСУ ВНЭУ унифицированы.

В качестве межсистемного интерфейса верхнего уровня применен резервированный канал с реализацией на основе кабеля «витая пара» кольцевой топологии со скоростью обмена в пике – до 100 Мбит/с.

Для передачи информации в реальном масштабе времени применены протоколы обмена, обеспечивающие гарантированное время доставки пакета данных.

Для организации подключения абонентов к сети использованы коммутаторы.

В качестве основного межприборного интерфейса в системах управления, входящих в состав КАСУ ВНЭУ, применен резервированный канал с реализацией на основе кабеля «витая пара».

Дальнейшие испытания опытного образца будут проведены на стенде совместно с управляемыми объектами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Schwiedernoch R., Tischer S., Correa C., Deutschmann O.* Experimental and Numerical Study on the Transient Behavior of Partial Oxidation of Methane in a Catalytic Monolith // Chem Eng. Sci. – 2003. – Vol. 58. – P.633–642.
2. *Consonni Stefano, Viganò Federico.* Decarbonized Hydrogen and Electricity from Natural Gas. – Second Annual Conference on Carbon Sequestration, Washington, 2003, 5–8 May.
3. *Лавров Н. В.* Физико-химические основы процесса горения топлива. – М.: Наука, 1971.
4. *Alfonso F. Ibarretal and Chih-Jen Sung.* Optimization of Jet-A Fuel Reforming for Aerospace Applications – <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2005.12.017>
5. *Hagh B. F.* Optimization of Autothermal Reactor for Maximum Hydrogen Production. // Hydrogen Energy. – 2003. – Vol. 28. – P.1369–1377.
6. *Semelsberger T. A., Brown L. F., Borup R. L., Inbody M. A.* Equilibrium Products from Autothermal Processes for Generating Hydrogen-Rich Fuel-Cell Feeds // Hydrogen Energy. – 2004. – Vol. 29. – P.1047–1064.
7. *Киселев В.В., Шилов К.Ю.* Системы управления техническими средствами. – М.: Политех-пресс, 2019. ■

Режим «зависания» автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) необходим для обследования определенной области донной поверхности. Скорость АНПА, находящегося в режиме «зависания», равна нулю. Теплоотдача от корпуса будет происходить при естественной конвекции заборной воды, если не учитывать скорость ее течения, что улучшит теплоотдачу от корпуса АНПА. Двигательно-рулевой комплекс (ДРК) в этом режиме не работает на обеспечение перемещения аппарата в горизонтальной плоскости, и вся энергия, вырабатываемая электрохимическим генератором (ЭХГ), идет на питание бортовой аппаратуры и работу подруливающих устройств, обеспечивающих неподвижность аппарата в пространстве.

РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ КОРПУСА ОТСЕКА С БТЭ В РЕЖИМЕ «ЗАВИСАНИЯ» ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ЗАБОРНОЙ ВОДЫ

Такой режим эксплуатации аппарата позволяет снизить электрическую мощность батареи топливных элементов (БТЭ) и как следствие, уменьшить количество отводимой теплоты за борт АНПА. Однако в режиме «зависания», как было отмечено выше, скорость движения АНПА в горизонтальной плоскости близка к нулевой, и отвод теплоты от его корпуса реализуется за счет естественной циркуляции (ЕЦ) заборной воды (рис. 1).



Рис. 1. Картина обтекания корпуса АНПА за счет естественной конвекции в районе энергетического отсека при «зависании» аппарата

ЕЦ при этом наблюдается практически в неограниченном объеме за счет разности плотностей «горячей» и «холодной» заборной воды. Рассмотрим условия подобия для двух характерных процессов ($T_{ст} = const$ и $q_F = const$) при свободном гравитационном движении, обусловленном неоднородным распределением температуры в безграничном объеме около АНПА, геометрические размеры которого известны. В этом случае происходит свободное гравитационное движение (конвекция) под действием гравитационного поля в системе с неоднородным распределением плотности жидкости, которое может быть вызвано неоднородным распределением температуры (входной температуры охлаждающей воды $T_{охла}^{вх}$ и выходной $T_{охла}^{вых}$), концентрацией какого-либо компонента в смеси или наличием фаз, например, воды и газа с разной плотностью.

ТЕПЛООБМЕН В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОТСЕКЕ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА В РЕЖИМЕ «ЗАВИСАНИЯ»

*Н.С. Вахрушина, аспирант,
А.Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (981) 767 7237, +7 (911) 299 9736*

Рассмотрим первую граничную задачу: необходимо определить величину теплового потока q_F ; температура стенки корпуса аппарата $T_{ст}$ задана.

Исходную систему уравнений с учетом подъемной силы (силы Архимеда) в уравнении Навье–Стокса при слабой линейной зависимости плотности от температуры и принятыми условиями однозначности запишем в векторной форме. Подобная запись системы уравнений Навье–Стокса позволяет представить их в более компактном виде:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{q_F l_i}{\lambda \Delta T} &= - \frac{\partial \vartheta}{\partial N} \Big|_{N=0}, \\ \frac{\bar{w} l_i}{a} \bar{\nabla} \vartheta - \bar{\Delta} \vartheta &= 0, \\ \text{rot} \left(\frac{\bar{w} l_i}{\nu} \bar{\nabla} \frac{\bar{w} l_i}{\nu} - \bar{\Delta} \frac{\bar{w} l_i}{\nu} + \beta \frac{\Delta T l_i^3}{\nu^2} g, \theta \cdot \bar{j} \right) &= 0, \\ \frac{\bar{w} l_i}{\nu} \Big|_{N=0} &= 1; \frac{\bar{w} l_i}{\nu} \Big|_{N \rightarrow \infty} = 0; \vartheta \Big|_{N=0} = 1; \vartheta \Big|_{N \rightarrow \infty} = 0, \\ F \left(\frac{\bar{r}_F}{l_i}, 1, \frac{l_2}{l_i}, \dots, \frac{l_n}{l_i} \right) &= 0. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где q_F – тепловой поток; l_i – характерный размер; λ – теплопроводность; ϑ – изменение температуры; N – координата; \bar{w} – вектор скорости; ν – вязкость.

Решение системы уравнений (1) может быть представлено функциональной зависимостью

$$\varphi_1 \left(\vartheta, N, \frac{q_F l_i}{\lambda \Delta T}, \frac{\bar{w} l_i}{a}, \frac{\bar{w} l_i}{\nu}, \beta \frac{\Delta T l_i^3}{\nu^2} g, \Gamma \right) = 0,$$

где Γ – геометрическое число подобия.

Далее произведем преобразования этого выражения и получим

$$\frac{q_F l_i}{\lambda \Delta T} = - \frac{\partial \vartheta}{\partial N} \Big|_{N=0} = \varphi_2 \left(\frac{\bar{w} l_i}{a}, \frac{\bar{w} l_i}{\nu}, \beta \frac{\Delta T l_i^3}{\nu^2} g, \Gamma \right).$$

Разделим первый член на второй с целью освобождения от неизвестной скорости \bar{w} . Тогда получим функцию для первой характерной задачи в виде

$$f \left(\frac{q_F l_i}{\lambda \Delta T}, \frac{\nu}{a}, \beta \frac{\Delta T l_i^3}{\nu^2} g, \Gamma \right) = 0, \quad (2)$$

Соотношение (2) является решением первой характерной задачи, где критерий Грасгофа характеризует соотношение сил трения и подъемной силы, обусловленной различием плотностей в отдельных точках неизотермического потока, и описывается уравнением с использованием критерия Галилея Ga , т.е.

$$Gr = Ga \beta \Delta T = \frac{g d_k^3}{\nu_{ж}^2} \beta \Delta T. \quad (3)$$

где β – коэффициент объемного расширения воды, $1/K$; $\nu_{ж}$ – кинематический коэффициент вязкости жидкости, m^2/c ; $g = 9,81 m/c^2$ – ускорение свободного падения; d_k – диаметр

энергетического отсека, м (см. рис. 1); ΔT – разность температур стенки и жидкости, К.

Соотношение (2) может быть переписано в виде $Nu = f(Pr, Gr, \Gamma)$.

Рассмотрев вторую характерную задачу, когда задается распределение плотности теплового потока на поверхности тела и ее изменение во времени, получим

$$\varphi \left(\frac{q_F l_1}{\lambda \theta_f}, \frac{v}{a}, \frac{\beta_1^4 g q_F}{\lambda v^2}, \Gamma \right) = 0, \quad (4)$$

откуда $Nu_0 = \varphi(Pr, Ra, \Gamma)$,

где Ra – число Рэлея: $Ra = \frac{\beta_1^4 g q_F}{\lambda v^2}$; $Nu_0 = \frac{q_F l_1}{\lambda \theta_f}$.

Теория подобия и размерностей дает возможность заметить зависимости между многими физическими параметрами среды и теплоотдающей поверхности, характеризующими процесс теплообмена, зависимостями между определенными безразмерными величинами – критериями (числами) подобия, составленными из размерных физических величин по правилам, установленным этой теорией. При этом количество чисел подобия, описывающих процесс теплообмена, всегда меньше количества размерных параметров. Кроме того, теория подобия позволяет точно определить подобные явления и распространить на них результаты конкретного исследования.

В табл. 1, взятой из [1], приведены обобщенные функциональные зависимости числа Нуссельта от определяющих тот или иной характер конвективного теплообмена чисел подобия.

Таблица 1

Обобщенные параметры естественной и вынужденной конвекции

Условия и параметр	Естественная конвекция	Вынужденная конвекция
Причина движения омывающей среды	Гравитационная сила	Скорость вынужденного движения среды (давление среды, создаваемое внешними силами)
Функциональная зависимость между числами подобия	$Nu = f(Gr, Pr)$	$Nu = f(Re, Pr)$
Критерий, определяющий переход ламинарного потока в турбулентный	$Gr \geq 10^5$	$Re \geq 10^3$
Превалирующий параметр теплоотдачи	Ламинарный поток: $Nu \sim Gr^{1/4}$. Турбулентный поток: $Nu \sim Gr^{1/3}$.	Ламинарный поток: $Nu \sim Re^{0.5}$. Турбулентный поток: $Nu \sim Re^{0.8}$.

В критерии подобия входят физические параметры жидкой среды (заборной воды), омывающей поверхность твердого тела (корпуса АНПА). При записи чисел подобия физические свойства часто считаются постоянными. Однако, поскольку температура среды переменна, то изменяются и значения ее физических параметров. По этой причине важным является выбор так называемой *определяющей температуры*, по которой находятся значения физических величин, входящих в критерии подобия.

Многочисленные экспериментальные и теоретические работы показывают, что нет такой универсальной определяющей температуры, в результате выбора которой автоматически учитывалась бы зависимость процесса теплообмена от изменения значений физических параметров. Поэтому за определяющую обычно принимают такую температуру, которая в технических расчетах либо задана, либо легко определяется. В последнем случае расчеты просто корректируются методом последовательных приближений.

Теория подобия однозначно не отвечает на вопрос, какой размер омываемой поверхности принимать за определяющий. Обычно при проведении инженерных расчетов за него

выбирают тот размер, в направлении которого происходит движение основного потока жидкой среды.

В нашем случае необходимо определить средний по поверхности отсека с БТЭ коэффициент теплоотдачи для естественной конвекции заборной воды. Расчетные формулы являются обобщением на основе теории подобия обширного экспериментального материала и взяты из [1 – 4].

При естественной конвекции в неограниченном пространстве определяющим фактором является нагрев жидкой среды, омывающей поверхность корпуса АНПА. Охлаждение среды (заборной воды) происходит где-то вдали и никак не влияет на характер движения среды в области омываемого тела (корпуса АНПА).

По данным академика М. А. Михеева, средний коэффициент теплоотдачи при свободном движении жидкости (в нашем случае заборной воды) около горизонтальной трубы (корпуса АНПА) рассчитывается по формуле [2 – 4]:

$$\overline{Nu}_ж = CRa_ж^n \pm 15\%, \quad (5)$$

где $Ra_ж$ – критерий термогравитационной конвекции – число Рэлея, характеризующий меру отношения подъемных сил, обусловленных градиентом плотности и сил вязкости; C и n – коэффициенты – эмпирически подобранные величины, причем физические параметры заборной воды, входящие в критерии, принимаются по средней температуре $T_{cp} = 0,5(T_{cp} + T_ж)$ и в зависимости от режима течения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов C и n для расчета критерия Нуссельта

Величина критерия Рэлея $Ra=Gr \cdot Pr$	Режим течения	Коэффициенты	
		C	n
$10^3 \div 5 \times 10^2$	Переходный от пленочного к ламинарному	1,18	1/8
$5 \times 10^2 \div 2 \times 10^7$	Ламинарный и переходный к турбулентному	0,54	1/4
$> 2 \times 10^7$	Турбулентный	0,135	1/3

Как следует из рассмотрения табл. 2, в зависимости от показателя степени n существует четыре закона теплообмена, соответствующие четырем режимам движения жидкости у поверхности твердого тела: закон нулевой степени, 1/8, 1/4 и 1/3 степени.

Закон нулевой степени соответствует пленочному режиму, при котором у поверхности тела образуется почти неподвижная пленка нагретой жидкости. Этот закон имеет место при небольших перепадах температуры у тел с плавными очертаниями. Интенсивность теплообмена при этом очень мала и определяется только теплопроводностью среды.

Закон 1/8 степени соответствует ламинарному движению жидкости, иногда его называют переходным от пленочного к ламинарному. Эффективность теплообмена при этом незначительна, так как площадь теплоотдающей поверхности мала, хотя коэффициент теплоотдачи выше, чем при других режимах движения жидкости. Протяженность участка с ламинарным движением зависит от температуры поверхности. С ростом температуры эта протяженность уменьшается. Если форма поверхности тела цилиндрическая и жидкость имеет нормальное направление к оси этого тела, то в качестве определяющего размера следует считать диаметр тела d , так как при нагреве жидкости вихреобразное перемешивания слоев жидкости не наблюдается.

Закон 1/4 степени соответствует переходному режиму, что имеет место у плоских и цилиндрических поверхностей аппаратов средних размеров, у плоских ребер радиаторов и т.д. Интенсивность теплообмена при этом законе ниже, чем при ламинарном режиме, однако эффективность теплообмена повышается за счет увеличения площади теплоотдающей поверхности.

Закон $1/3$ степени характерен для турбулентного движения жидкости. Этот режим наблюдается у поверхностей корпусов аппаратов больших размеров и при относительно больших перепадах температуры между поверхностью тела и средой. Теплообмен при этом протекает весьма интенсивно за счет высокого использования площади поверхности. Коэффициент теплоотдачи при этом режиме не зависит от определяющего размера.

Расчет естественной конвекции заборной воды при охлаждении АНПА в режиме «зависания» будет существенно зависеть от габаритов его прочного корпуса. С ростом габаритов прочного (внешнего) корпуса АНПА естественная циркуляция будет увеличиваться, поскольку будет расти расстояние от нижней точки («холодной» воды) до верхней точки («горячей» воды).

Известно [4], что для обобщения экспериментальных данных о режиме течения жидкости разной физической природы используют критерий Рэлея

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g\beta D_{\text{нар}}^3 \Delta T}{\nu_{\text{в.в}} a}, \quad (6)$$

где Gr – критерий Грасгофа, являющийся частным случаем критерия Архимеда и характеризующий отношение термogravitационной силы к силе вязкого трения; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $\beta = 1/T_0$, $1/\text{К}$ – коэффициент объемного расширения воды; a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; ΔT – модуль разности температур между стенкой и жидкостью.

Если $Ra > 2 \times 10^7$, то режим течения турбулентный со степенью $1/3$, т.е. критерий Нуссельта

$$\overline{Nu}_{\text{ж}} = CRa^n = 0,135Ra^{1/3}. \quad (7)$$

Коэффициенты C и n определяются из табл. 2.

Дальнейшие действия реализуются по нижеприведенным формулам.

Критерий Нуссельта

$$Nu_{zv} = 0,54 \cdot Ra_{zv}^{0,25} \text{ if } Ra_{zv} < 2 \cdot 10^7.$$

Коэффициент теплоотдачи от корпуса к заборной воде

$$\alpha_{zv} = \frac{Nu_{zv} \cdot \lambda_{zv}}{dk},$$

где λ_{zv} – коэффициент теплопроводности заборной воды, определяемый по формуле

$$\lambda_{zv} = 0,553 \cdot (1 + 0,003 \cdot t_{zv}).$$

Коэффициент теплопередачи от воздуха энергетического отсека через корпус АНПА к морской воде

$$k_{ov} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ov}} + \frac{dk - dk_v}{\lambda k} + \frac{1}{\alpha_{zv}}},$$

где dk_v – внутренний диаметр корпуса АНПА, λk – коэффициент теплопроводности материала корпуса АНПА.

Средний температурный напор между воздухом энергетического отсека и заборной водой:

$$\Delta T_{sr} = T_{ots} - t_{zv}.$$

Поверхность теплообмена корпуса АНПА для передачи теплоты от воздуха отсека к заборной воде

$$F_{ko} = \frac{Q_{ots}}{k_{ov} \cdot \Delta T_{sr}}.$$

Необходимая длина корпуса АНПА для передачи всей теплоты заборной воде

$$L_{ko} = \frac{F_{ko}}{\pi dk}.$$

Расчеты по выше приведенному алгоритму выполнялись в среде MathCAD 15. Результаты расчетов в виде матриц приведены на рис. 2.

Как следует из рассмотрения представленных на рис. 2 расчетных результатов, с ростом температуры морской

МАТРИЦА ПОЛУЧЕННЫХ РАСЧЕТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

$t_{zv} :=$	$L_{ko} :=$	$T_{ots} :=$
$\begin{pmatrix} 0 \\ 10 \\ 20 \\ 30 \\ 40 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 23.1 \\ 28.2 \\ 33.7 \\ 36.1 \\ 37.4 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 58.5 \\ 59.7 \\ 61 \\ 69 \\ 78 \end{pmatrix}$

Рис. 2. Результаты расчетов по математической модели теплообмена в режиме «зависания» АНПА при изменении температуры морской воды от 0 до +40 °С: t_{zv} – температура заборной воды; L_{ko} – длина теплопередающей поверхности корпуса АНПА; T_{ots} – температура воздуха в энергетическом отсеке АНПА

воды от 0 до +40 °С, длина корпуса АНПА, задействованного в передаче теплоты от воздуха энергетического отсека морской воде в режиме «зависания» аппарата, возрастает почти на 40%. При этом температура воздуха в энергетическом отсеке также растет с 58,5 °С (при температуре морской воды 0 °С) до 78 °С (при температуре морской воды 40 °С), т. е. на 25%.

Повторим, что в режиме «зависания» АНПА не используется движительно-рулевой комплекс, а удерживается лишь за счет работы вертикальных подруливающих движителей.

В подобном режиме эксплуатации АНПА электрическая энергия, вырабатываемая БТЭ ЭХГ, расходуется на обеспечение работы подруливающих устройств и внутренние потребности АНПА, включая поисковый эхолот, систему стабилизации, систему автоматического управления, связь и другие системы.

На рис. 3 построены графические зависимости изменения параметров энергетического отсека (активной длины теп-

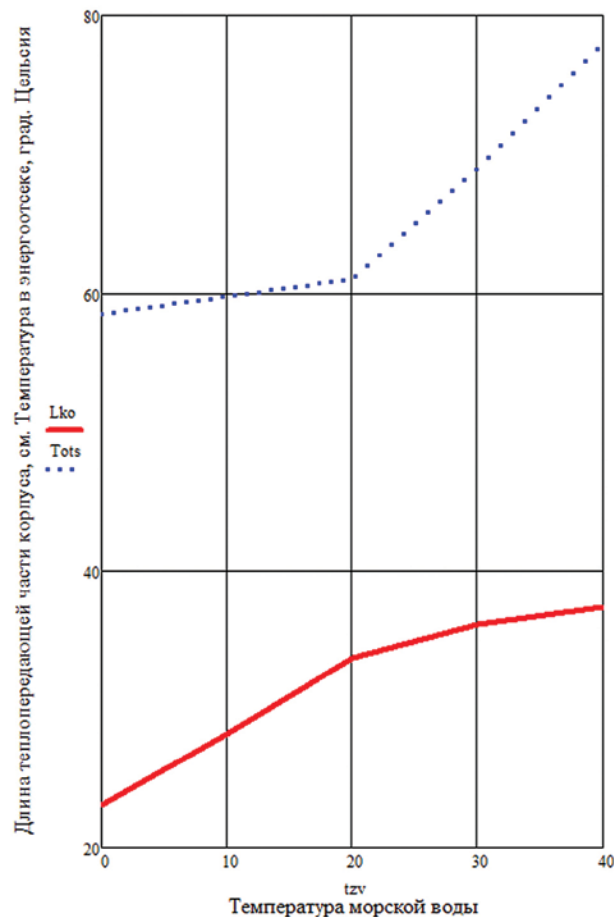


Рис. 3. Графическое представление изменения характеристик энергетического отсека АНПА в функции температуры морской воды в режиме «зависания»

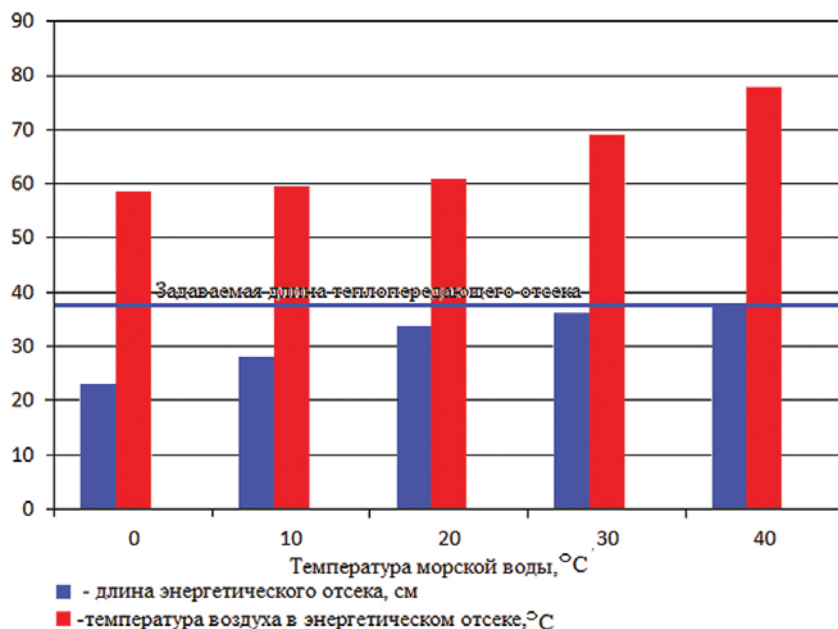


Рис. 4. Диаграмма изменения длины теплопередающего корпуса и температуры в энергетическом отсеке в режиме «зависания» АНПА при изменении температуры морской воды

лопередающей поверхности корпуса АНПА и температуры воздуха в энергетическом отсеке) в функции температуры морской воды.

Графики, изображенные на рис. 3, показывают, что практически существует две области скорости изменения температуры в энергетическом отсеке и длины теплопередающего корпуса автономного необитаемого подводного аппарата.

Первая область изменения параметров энергетического отсека реализуется от 0 до 20 °С, когда температура воздуха в этом отсеке достаточно интенсивно растет. Вторая область простирается от 20 до 40 °С, и здесь температура воздуха в отсеке растет не столь интенсивно.

Длина теплопередающей части энергетического отсека АНПА в первой области растет менее интенсивно, а на втором участке – интенсивнее.

В любом случае температура воздуха приближается к температуре поверхности БТЭ, которая не должна превышать 85 °С. Расчеты, выполненные по приведенной математической модели, показали, что идеальные условия для работы БТЭ реализуются, когда перепад температур между поверхностью БТЭ и воздухом энергетического отсека равняется 26,5 °С. При этом температура воздуха в отсеке составляет 58,5 °С.

На рис. 4 изображена диаграмма, наглядно показывающая изменения длины теплопередающей поверхности корпуса АНПА и температуры в энергетическом отсеке в режиме «зависания» для различных температур морской воды. Здесь же на диаграмме отмечена граница энергетического отсека, которая равнялась 0,375 м. В наиболее теплонапряженном варианте расчета при температуре морской воды, составляющей 40 °С, расчетная длина энергетического отсека составила 0,374 м, т. е. практически оказалась равной задаваемой длине.

Однако этот режим эксплуатации АНПА весьма напряженный, поэтому при таких высоких температурах морской воды (возможно, на экваторе) необходимо следить, чтобы не было перегрева БТЭ. С этой проблемой справляется система автоматического управления ЭХГ, отслеживающая с помощью термонапар температуру на поверхности БТЭ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные оценочные расчеты работы энергетической установки с ЭХГ в режиме «зависания» АНПА позволили сделать вывод о способности охладить энергетический отсеком во всем диапазоне температур – от 0 до +32 °С.

В режиме «зависания» АНПА при температуре заборной воды +32 °С температура в энергетическом отсеке приближается к максимально возможной температуре поверхности БТЭ.

Анализ перегрева БТЭ требует отдельного исследования способности работы ЭХГ в экстремальных внешних условиях и при длительности такой эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Справ./ Пер. с англ. В. В. Яковлева и В. И. Колядина. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.
2. Овсянников М.К., Костылев И.И. Теплотехника: Техническая термодинамика и теплопередача: Учебник. – СПб.: ЭЛМОР, 1998. – 208 с.
3. Бухмиров В.В. Расчет коэффициента теплоотдачи: Справ. – Т. 6: Расчет коэффициента конвективной теплоотдачи (основные критериальные уравнения). – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет, 2007. – 39 с.
4. Долматова М.О. Тепловые и массообменные процессы в химической технологии: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2019. – 96 с. ■

Использование сжиженного природного газа в качестве топлива для судовых энергетических установок (СЭУ) требует его постоянного охлаждения. Для определения отводимого от газа количества теплоты и, соответственно, выбора нужного оборудования СЭУ необходимо знать теплоемкость охлаждаемого газа. В работе [1] получены формулы, одна из которых легла в основу определения теплоемкости метана.

По определению, теплоемкость тела C – количество теплоты, необходимое для изменения температуры на 1 К. Вследствие того, что количество теплоты при изменении температуры зависит от характера термодинамического процесса, теплоемкость является функцией процесса.

Для определения теплоемкости метана использовано уравнение (1) из [1]:

$$P = \beta \times \frac{RT}{v - b} \quad (1)$$

где $\beta = 1 - \lambda + \mu$; λ и μ – безразмерные коэффициенты пропорциональности.

С помощью уравнения (1) было получено уравнение адиабатного процесса:

$$Pv^{k_{pr}} = \text{const}, \quad (2)$$

где k_{pr} – показатель адиабаты реального газа (РГ).

Введя показатель адиабаты РГ, удалось объяснить изменение показателя адиабаты в процессе расширения или сжатия газа. В процессе, допустим, расширения некоторого газа его теплоемкость изменяется, потому что меняются его параметры, соответственно, должен измениться и показатель адиабаты идеального газа, но сам идеальный газ остается неизменным. В соответствии с молекулярно-кинетической теорией показатель $k_{иг}$ не должен меняться, так как не изменяется атомность газа. Убрать это противоречие можно на основании теории РГ.

Показатель адиабаты РГ обоснованно меняется в адиабатном процессе, а показатель адиабаты идеального газа при этом обоснованно остается неизменным. Показатель адиабаты РГ также представляет собой отношение теплоемкостей:

$$k_{pr} = \frac{c_p}{c_v} \quad (3)$$

c_p – массовая изобарная теплоемкость; c_v – массовая изохорная теплоемкость.

Предложенная модель РГ позволяет учесть изменение теплоемкости рабочего тела в процессе.

Использованное уравнение для показателя адиабаты РГ имеет вид [1]

$$k_{pr} = \frac{\begin{pmatrix} 1 + \lambda^* - \mu^* - 1 + \lambda^* - \mu^* + \\ + (1 - \lambda^* + \mu^*)k \end{pmatrix}}{1 + \lambda^* - \mu^*} = \left(\frac{2\lambda^* - 2\mu^* + (1 - \lambda^* + \mu^*)k}{1 + \lambda^* - \mu^*} \right) \quad (4)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ МЕТАНА С ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ РЕАЛЬНОГО ГАЗА

Д.М. Кучинский, канд. техн. наук, доцент,

Д.О. Глазырина, аспирант,

С.А. Паимцев, ассистент,

Я.А. Бойко, студент, СПбГМТУ,

контакт. тел. +7 (921) 384 0283, +7 (911) 785 3828, kuchinskiy-dm@bk.ru, d_glazyrina@bk.ru, sergei_p1981@mail.ru, yana_boiko_nt@mail.ru

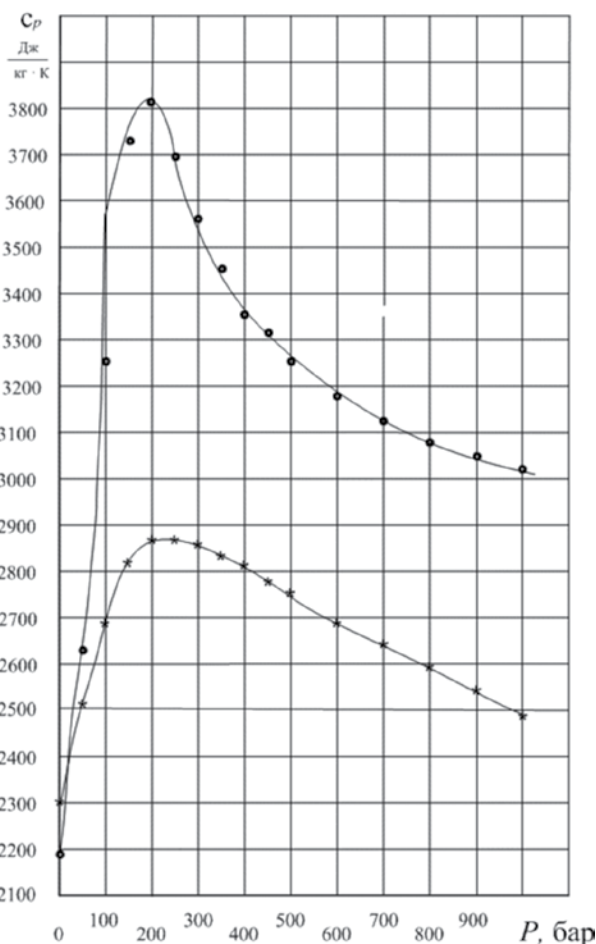


Рис. 1. График изменения теплоемкости метана в зависимости от давления при температуре 280 К

• – табличные данные по [2]; * – результаты расчета по предлагаемой методике

Используя выражение (4), находим массовую изобарную теплоемкость газа

$$c_p = \frac{k_{pr} \times \beta \times R}{k_{pr} - 1},$$

где R – удельная газовая постоянная, Дж/кг.

В ходе исследования были получены результаты, представленные на рис. 1, на основе которых можно сделать следующие выводы:

1. Значения теплоемкостей, рассчитанные по предлагаемой методике, удовлетворительно совпадают с табличными значениями в диапазоне давлений 1–50 бар. Расхождение варьируется от 0,2 до 4,5%.

2. Неудовлетворительно совпадают значения теплоемкостей, рассчитанные по предлагаемой методике, с табличными значениями при давлении больше 100 бар.

ЛИТЕРАТУРА

- Неделя науки СПбГМТУ–2020: Сб. докл. Всеросс. фестиваля науки «Nauka 0+». – В 2 т. – Т. 1. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2020. – 658 с.
- Сычев В.В. Термодинамические свойства метана/Сычев В.В, Вассерман А.А., Загорученко В.А., Козлов А.Д., Спиридонов Г.А., Цымарный В.А. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 348 с. ■

В современных судовых машинах и производственных системах с высокой степенью автоматизации цикла реализуется множество различных движений. Компактные гидродвигатели легко встроить в механизмы и соединить трубопроводами с насосной установкой, имеющей один или два насоса. Такая система открывает широкие возможности для автоматизации цикла производственного процесса, контроля и оптимизации рабочих движений, применения копировальных, адаптивных или программных систем управления, легко поддается модернизации, состоит главным образом из унифицированных изделий, серийно выпускаемых специализированными заводами. К основным преимуществам гидропривода следует отнести также достаточно высокое значение КПД, повышенную жесткость и долговечность.

Широкое использование гидравлических приводов в судостроении определяется рядом их существенных преимуществ перед другими типами приводов и, прежде всего, возможностью получения больших усилий и мощностей при ограниченных размерах гидродвигателей. Гидроприводы обеспечивают широкий диапазон бесступенчатого регулирования скорости при хорошей плавности движения, возможность работы в динамических режимах с требуемым качеством переходных процессов, защиту системы от перегрузки и точный контроль действующих усилий. С помощью гидроцилиндров удается получить прямолинейное движение без кинематических преобразований, а также обеспечить определенное соотношение скоростей прямого и обратного ходов.

Однако гидроприводы имеют и недостатки, которые ограничивают их использование. Это – потери на трение и утечки, снижающие КПД гидропривода и вызывающие разогрев рабочей жидкости. Внутренние утечки через зазоры подвижных элементов в допустимых пределах полезны, поскольку улучшают условия смазывания и теплоотвода, в то время как наружные утечки приводят к повышенному расходу масла, загрязнению гидросистемы и ухудшению экологии.

Наружная утечка из рабочего цилиндра происходит в том случае, когда направляющая втулка гидроцилиндра (рис. 1) имеет износ и по этой причине уплотнения не справляются с герметизацией.

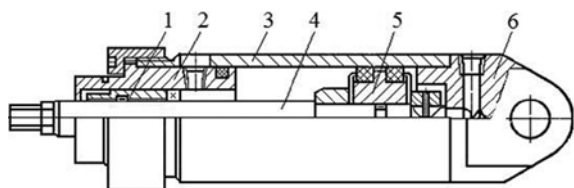


Рис. 1. Чертеж гидроцилиндра типа ПЦ
1 – направляющая втулка, 2 – крышка, 3 – гильза, 4 – шток, 5 – поршень, 6 – крышка с проушиной

Работоспособность гидросистем резко снижается при изменении вязкости масла во время его разогрева, что приводит к изменению скорости движения рабочих органов. В связи с наличием внутренних утечек затруднена точная координация движений гидродвигателей. Износ уплотнений и рабочей поверхности поршня способствует увеличению утечек.

Наиболее подвержена износу поверхность зеркала гильзы гидроцилиндра – в зоне, располагаемой вблизи крышки с направляющей втулкой. При полностью выдвинутом штоке за счет сил трения в цапфах гидроцилиндра рабочая поверхность втулки оказывается нагруженной поперечной силой, что и приводит к износу втулки и поверхности зеркала гильзы.

Детали узлов гидропривода весьма трудоемки в изготовлении. Долгое время считалось, что их усовершенствование не-

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИАМИДНЫХ ПОКРЫТИЙ В ГИДРОЦИЛИНДРАХ ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА

А.А. Соловьев, ст. преподаватель СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (904) 633 0276, asolneva@mail.ru

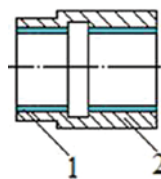


Рис. 2. Устройство направляющей втулки гидроцилиндра с нанесенным антифрикционным покрытием на внутреннюю поверхность
1 – полимерное покрытие, 2 – втулка



Рис. 3. Конструкция поршня гидроцилиндра
1 – поршень, 2 – полимерное покрытие

возможно. С появлением новых материалов и технологических приемов изготовления деталей такая задача для силовых гидроцилиндров может быть успешно решена. Усовершенствованная конструкция направляющей втулки изображена на рис. 2. Наружную поверхность поршня гидроцилиндра следует покрывать антифрикционным покрытием, как показано на рис. 3.

Перечисленным изменениям можно подвергать как новые гидроцилиндры, так и восстанавливаемые во время ремонта. Для этого целесообразно использовать современный спирторастворимый полиамид ПА–6/66-3 (ТУ 2224-002-59355715–2008) в порошкообразном состоянии, модифицированный наполнителями. Наполнители позволяют придать антифрикционным покрытиям требуемые эксплуатационные свойства.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИАМИДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Первоначальная прочность адгезии полиамида ПА–6/66-3 к металлической подложке из стали может достигать $(35\div 45) \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ и более. Такая величина многократно превышает значение напряжений, которые имеют место в зоне трения направляющих втулок и поршней гидроцилиндров. Поэтому, если правильно выдерживается температурный режим узла трения, полимерное покрытие служит в нем достаточно длительное время. Вместе с этим прочность адгезионных связей полимерного антифрикционного покрытия к подложке в процессе работы гидроцилиндра постепенно снижается. В какой-то момент может наступить полное отслоение покрытия – полимерного слоя от поршня. После этого гидроцилиндр не может работать. В связи с этим большое практическое значение приобретает разработка инженерных методов расчета долговечности антифрикционных полиамидных покрытий с учетом изменения их адгезионной прочности.

В фундаментальных научных работах С.Н. Журкова, А.А. Берлин, А.Я. Башкарева, В.В. Носова и других ученых [1–4] обосновывается предположение о применимости к расчету адгезионных соединений термофлуктуационной теории прочности. На основании этого для адгезии полиамида к металлу можно считать справедливым критерий Бейли, отражающий зависимость ее от переменных напряжений $\sigma(t)$ и температуры $T(t)$, представленный в виде выражения

$$\int_0^{\tau} \frac{dt}{\tau_0 \exp \frac{U - \gamma \sigma(t)}{RT(t)}} = 1, \quad (1)$$

где τ – долговечность адгезионного соединения, с; τ_0 – предэкспоненциальный множитель, практически независимый от

вида материала и равный периоду колебаний атомов относительно своих равновесных положений, $\tau_0 = 10^{-12} \div 10^{-13}$ с; U – коэффициент, соответствующий энергии активации процесса термодеструкции полимера, ккал/моль; γ – коэффициент чувствительности полимера к механическим напряжениям, ккал·мм²/моль·кг; T – температура, оС; R – универсальная газовая постоянная – 8,31 Дж/моль·град., σ – временная прочность на растяжение, определяемая при известных силовых характеристиках воздействующих на деталь.

Для нахождения нагрузок в приводах механизмов можно воспользоваться рекомендациями, изложенными в работе [5].

Таким образом, зная характеристики материала U и γ , а также температуру и напряженное состояние полиамидного антифрикционного покрытия, можно рассчитать долговечность адгезионного соединения.

МЕТОДИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

При трении поршня с полиамидным покрытием о гильзу гидроцилиндра в парах объемного гидропривода полимерное покрытие не подвергается большим нормальным или касательным нагрузкам. Поэтому основным разрушающим фактором здесь является высокая температура нагрева, которую допускает рабочая жидкость. Под ее воздействием и происходит нарушение адгезии между полимерным слоем и металлической подложкой.

При известных параметрах U и γ , характеризующих долговечность адгезии, можно достаточно точно рассчитать продолжительность эксплуатации полиамидного антифрикционного покрытия. Следует отметить, что до последнего времени не существует общепринятой стандартной методики определения параметров характеристики материалов U и γ для адгезионных соединений, что в значительной степени затрудняет проведение отбора наиболее долговечных для данных целей полимерных композиций.

Как известно, процесс разрушения, когда напряжения не превышают мгновенный предел прочности, может быть представлен в виде двух последовательных этапов. Вначале происходит постепенное накопление дефектов за счет последовательного нарастания числа разрушившихся адгезионных связей. В результате имеет место уменьшение фактической площади адгезии, что сопровождается увеличением нагрузки на оставшиеся связи. В определенное время они достигают значения мгновенного предела прочности, вызывая заключительный лавинный этап разрушения. В известном виде критерий Бейли не отражает этой картины адгезионного разрушения, поэтому даже при заданном законе изменения нагрузки в процессе испытания образцов он не позволяет определить параметры.

С целью учета процесса разрушения адгезионных связей и, следовательно, уменьшения фактической площади адгезионного соединения полимера с металлом можно ввести в критерий Бейли переменный коэффициент $\varphi(t)$. Фактически его роль здесь будет такой же, как у коэффициента сплошности, предложенного в работе [7]. В соответствии с этим критерий долговечности примет вид

$$\int_0^{\tau} \frac{dt}{\tau_0 \exp \frac{U - \gamma \cdot \varphi(t) \sigma(t)}{RT(t)}} = 1. \quad (2)$$

Принимая во внимание наличие двух стадий разрушения адгезионных связей, левую часть выражения (2) можно записать в виде суммы двух интегралов:

$$\int_0^{\tau_1} \frac{dt}{\tau_0 \exp \frac{U - \gamma \cdot \varphi(t) \sigma(t)}{RT(t)}} + \int_{\tau_1}^{\tau} \frac{dt}{\tau_0 \exp \frac{U - \gamma \cdot \varphi(t) \sigma(t)}{RT(t)}} = 1; \quad (3)$$

где τ_1 , – момент начала лавинного этапа разрушения.

Это же время можно считать и ресурсом работы адгезионного соединения. Значения первого и второго интегралов в выражении (3) пропорциональны соответственно числу разрушившихся и сохранившихся адгезионных связей в момент τ_1 .

Следует отметить, что снижение прочности адгезионного соединения к моменту τ_1 также прямо пропорционально числу разрушившихся к этому времени связей. В соответствии с этим, если обозначить адгезионную прочность в начальный момент времени после создания покрытия через $[\sigma]_0$, а адгезионную прочность покрытия в момент времени τ_1 , как $[\sigma]_1$, тогда можно записать следующее выражение:

$$\int_0^{\tau} \frac{dt}{\tau_0 \exp \frac{U - \gamma \cdot \varphi(t) \sigma(t)}{RT(t)}} = 1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]_0}; \quad (4)$$

С помощью критерия Бейли легко показать, что при постоянных напряжениях и температуре нарастание числа разрушившихся адгезионных связей во времени идет по линейному закону. В соответствии с этим для такого режима выражение (4) может быть записано в виде уравнения

$$\int_0^{\tau} \frac{dt}{\tau_0 \exp \frac{U - \gamma(t) \cdot \left[1 + \left(\frac{[\sigma]_0}{[\sigma]_1} \right)^{-1} \right] \frac{t}{\tau} \sigma(t)}{RT(t)}} = 1 - \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]_0}. \quad (5)$$

С использованием полученного выражения (5) была проведена серия испытаний долговечности адгезии покрытий из полиамидной смолы П-6/66-3 по следующей методике.

Предварительно подготавливалась партия образцов, изображенных на рис.4, которые состояли из круглой шайбы 1 и установленного в ее центре по переходной посадке штифта 2 диаметром 3 мм, изготовленного из низкоуглеродистой стали (Ст. 3).

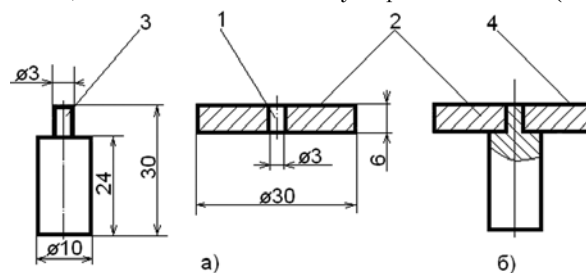


Рис. 4. Образец для исследования прочности адгезии полимерных покрытий: а – геометрические размеры, б – образец в сборе

В собранном виде рабочая поверхность образца, на которую должен наноситься полиамид, подвергался дробеструйной обработке колотой крошкой отбеленного чугуна размером фракций 0,5 – 0,8 мм при давлении сжатого воздуха 0,6 – 0,7 МПа. Затем образец нагревался в печи до температуры 320 °С. Далее на рабочую поверхность наносился полимерный полиамидный порошок. Количество порошка дозировалось для создания покрытия толщины слоя 1 мм, как это описывалось в работе [6].

Половина подготовленной партии образцов использовалась для определения отрыва штифтов и определения адгезионной прочности слоя на отрыв $[\sigma]_0$. Испытания проводились при температурах 20 °С и 100 °С, с помощью специального термостатирующего устройства, показанного на рис. 5.

Оставшиеся образцы разделялись на две части, прогревались до тех же температур и устанавливались в нагружающее устройство, представленное на рис. 6. Усилие пружины составляло 70% от предела адгезионной прочности, установленного ранее. Образцы вместе с нагревательным устройством помещались в термощаф, где выдерживались при температурах 20 °С и 100 °С до разрушения адгезионного соединения штифтов с полимерным слоем.

Параметры соединений в зависимости от наполнителя

Марка полиамида	Наполнитель	U , ккал/моль	γ , ккал·мм ² /моль·кг
ПА – 6/66-3	0,6% неозон-Д	27,21	2,61
П – 6/66-3	10,0% Al	27,78	2,94
П – 6/66-3	5,0% Al	27,47	2,87
П – 6/66-3	10,0% Cu	26,23	2,65
П – 6/66-3	5,0% Cu	25,63	2,71

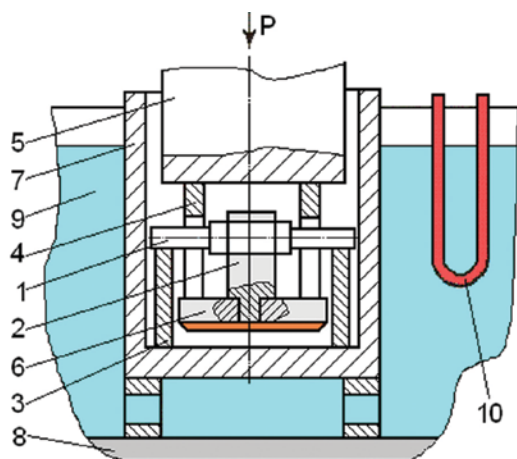


Рис. 5. Устройство для испытания прочности адгезии на образцах при температуре 100 °С

1 – зажим, 2 – штифт, 3 – втулка, 4 – толкатель, 5 – пуансон, 6 – подложка, 7 – металлический стакан, 8 – резервуар, 9 – вода, 10 – нагревательный элемент

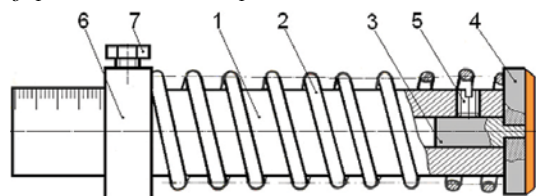


Рис. 6. Приспособление для нагружения образцов при определении долговечности адгезии полиамидного покрытия

1 – металлический стержень, 2 – пружина, 3 – штифт, 4 – подложка, 5 – стопорный винт, 6 – упорное кольцо, 7 – фиксатор

Таким образом устанавливалась долговечность адгезии τ_{1T1} и τ_{1T2} при двух различных температурах и заданных напряжениях σ_{1T1} и σ_{1T2} . Подставив полученные при каждой температуре результаты опытов в выражение (5) и сделав соответствующие преобразования, можно получить соответствующие выражения для каждой температуры.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

С помощью описанной выше методики были установлены параметры долговечности адгезионных соединений U и γ для различных композиций на основе спирторастворимой полиамидной смолы ПА–6/66-3 (ТУ 2224-002-59355715–2008). Рассчитанные по результатам эксперимента с помощью выше полученного выражения значения параметров приведены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1

Параметры соединений в зависимости от температуры

Марка полиамида	Температура нанесения, °С	U , ккал/моль	γ , ккал·мм ² /моль·кг
ПА– 6/66-3 нанесение	320	26,13	2,10
ПА –6/66-3 нанесение	350	26,24	3,43

Анализ полученных данных показывает, что долговечность адгезионных соединений полиамида с металлом в значительной степени зависит от вида наполнителя, что ранее отмечалось в работе [2]. Природа этого явления требует дальнейшего изучения. Очевидно, здесь имеет место изменение микронапряженного состояния полимера на уровне молекулярных образований, обеспечивающих снижение отрицательного каталитического влияния подложки на адгезионные связи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования направлены на пополнение базы данных для разработки теоретических рекомендаций по выбору наполнителей, обеспечивающих наибольшую долговечность адгезии полиамидных покрытий. Определение наиболее рациональных составов композиции может проводиться опытным путем по предлагаемой в данной работе методике. С ее помощью был подобран состав для нанесения антифрикционного покрытия из спирторастворимого полиамида ПА–6/66-3 на рабочие поверхности поршней гидроцилиндров, используемых в приводе корабельных механизмов.

Применение технологии нанесения полиамидных покрытий на поршни гидроцилиндров во время ремонта дает большой технико-экономический эффект, так как ранее эти детали полностью выбраковывались.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1974. – 391 с.
2. Башкарев А.Я., Веттегрень В.И., Сулов М.А. Кинетика трения и износа полимерных композиционных материалов // Физика твердого тела. – 2005. – Т.47. – № 9. – С. 1619–1624.
3. Носов В.В., Носов С.В. Кинетическая модель разрушения адгезионных соединений // Изв. высших учебных заведений: Строительство. – 1993. – № 3. – С. 92.
4. Петров В.А., Башкарев А.Я., Веттегрень В.И. Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов. – СПб.: Политехника, 1993. – 475 с.
5. Стукач А.В. Расчет конструктивных элементов привода в курсовых и дипломных проектах по строительным машинам // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2013. – № 3. – С. 1032–1038.
6. Соловьев А.А. Влияние эксплуатационных факторов на адгезионную прочность антифрикционных покрытий. – Актуальные проблемы морской энергетики. Мат.-лы 11-й Международ. науч.-техн. конф., 2022, с. 385–388.
7. Веттегрень В.И., Башкарев А.Я., Сулов М.А. Влияние формы частиц наполнителя на прочность полимерного композита // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77. – № 6. – С. 135–138. ■

ВВЕДЕНИЕ

В процессе настройки и проведения испытаний изделия аппаратуры автоматической компенсации низкочастотных полей с непосредственным управлением токами по величине индукции низкочастотного электромагнитного поля объекта (АСК) неоднократно отмечалось, что исходные сигналы, необходимые для устойчивой работы системы, существенно отличаются от стендовых. В условиях стендов входной сигнал АСК, формируемый генератором сигналов, имеет синусоидальную форму, очищенную от гармоник и помех. В условиях заказа входной сигнал (рис. 1) очень часто носит сильно зашумленную случайным образом форму. Причина такого существенного отличия сигналов ясна: на объектах входной сигнал формируется путем наведения ЭДС в проводящем контуре большой площади, охватывающим объект компенсации. И поскольку величина наводимой ЭДС пропорциональна первой производной магнитного потока через контур, амплитуда высших гармоник индукции поля при дифференцировании его в контуре растет пропорционально частоте гармоники. Фактически незначительная индукция большой частоты наводит в контуре большую ЭДС, зашумляя полезный сигнал частотой 50 Гц, который, по сути, является преобладающим в спектре излучения электрооборудования. Задача состоит в том, чтобы отфильтровать гармоники входного сигнала, зашумляющие основную частоту, не нарушив устойчивости петли обратной связи контура регулирования в аппаратуре АСК.



Рис. 1. Реальная форма входного сигнала АСК на объекте

СЕРИЙНАЯ СИСТЕМА АСК И ЕЕ ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ

На рис. 2 изображена структурная схема АСК как системы автоматического регулирования тока в компенсационной обмотке $I_{\text{вых}}(p)$ в функции напряжения $U_{\text{вх}}(p)$, индуцированного источником сигнала в управляющей обмотке. Система регулирования содержит две цепи обратной связи:

- цепь внешней отрицательной обратной связи, осуществляемая через

МОДИФИКАЦИЯ КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ ТОКАМИ КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ

Б.Ю. Семёнов, начальник сектора – гл. конструктор направления СКЭМП, АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. +7 (812) 602 03 64, доб. 526

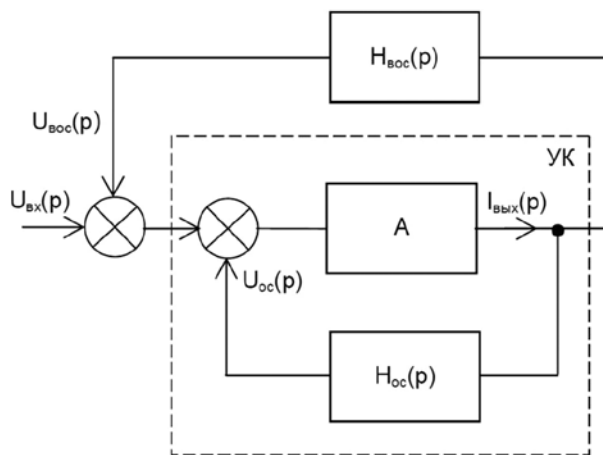


Рис. 2. Структурная схема АСК с непосредственным управлением

компенсационную и управляющую обмотки с передаточной функцией $H_{\text{voc}}(p)$ и напряжением на выходе цепи $U_{\text{вх}}(p)$;

- цепь внутренней знакопеременной обратной связи с передаточной функцией $H_{\text{oc}}(p)$ и выходным напряжением цепи $U_{\text{oc}}(p)$, предусмотренной в усилителе УК.

Цепь внутренней обратной связи предназначена для регулирования глубины общей отрицательной обратной связи канала и, тем самым, его коэффициента передачи с целью получения значения выходного тока, необходимого для достижения требуемого значения магнитного момента компенсационной обмотки.

Для обеспечения необходимой погрешности и стабильности электрических характеристик глубина эквивалентной отрицательной обратной связи, определяемой совместным действием внешней и внутренней связей цепей, должна быть оптимальной. Для АСК с непосредственным управлением это условие определяется значением петлевого усиления согласно выражению

$$A|H_{\text{voc}}(p) \pm H_{\text{oc}}(p)| \gg 1, \quad (1)$$

где A – коэффициент передачи внутреннего активного канала УК.

На рис. 3 показана электронная модель канала АСК с непосредственным управлением, построенная в программе

MicroCap. Входной сигнал АСК формирует источник V3, его амплитудное значение задано 14 мВ – минимальный входной уровень согласно ТУ на аппаратуру. Дифференцирование сигнала, фактически происходящее в управляющей обмотке (УО), в данном случае выполняется магнитосвязанными индуктивностями L1, L2.

Внутренняя передаточная функция $H_{\text{oc}}(p)$ имитируется каскадами отрицательной обратной связи и задана элементами X6...X9, причем знак передаточной функции можно изменить, пропустив сигнал на вход элемента X7 либо через инвертор X6, либо подключив вход элемента X7 непосредственно к точке OUT. Регулировка глубины внутренней обратной связи $H_{\text{oc}}(p)$ осуществляется изменением номинала резистора R22.

Элемент X3 представляет собой масштабный усилитель, регулирующий ток в нагрузке (элементы R12, L1), представляющей собой компенсационную обмотку (КО). Регулировка выходного тока осуществляется при заданной амплитуде источника V3 посредством изменения номинала резистора R10. В данном случае канал отрегулирован на выдачу номинального выходного тока с амплитудой 8,4 А.

Элементы X5, X14, E1 имитируют усилитель мощности с местной петлей

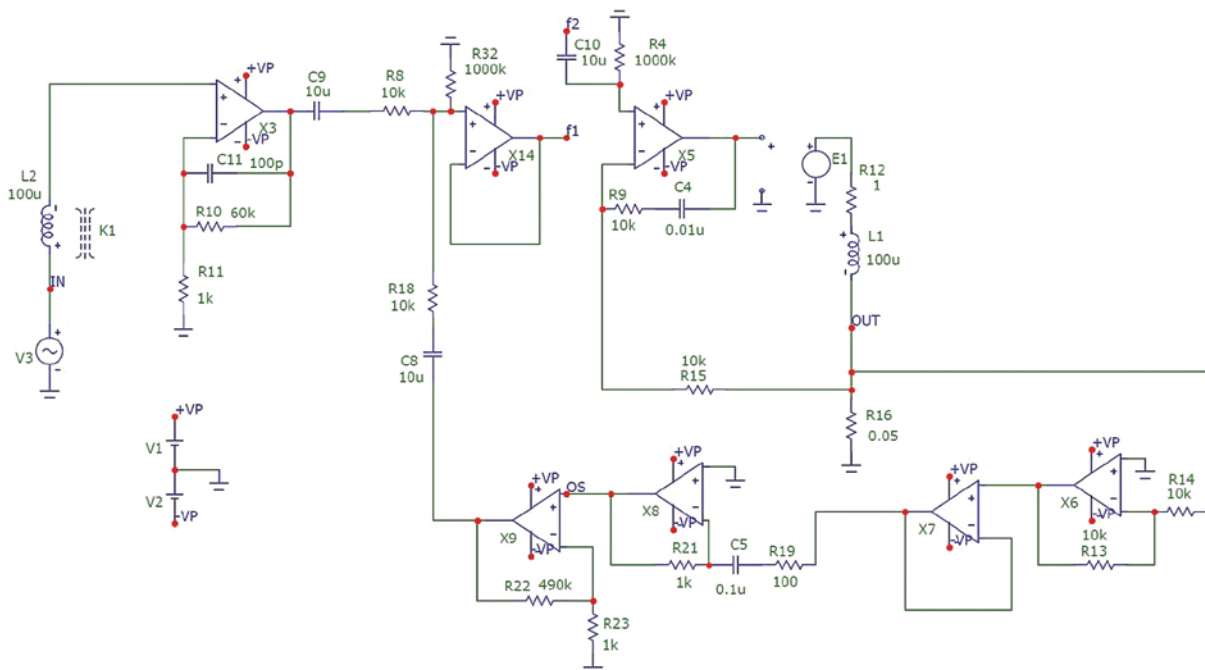


Рис. 3. Модель канала АСК серийной аппаратуры АСК

обратной связи. Коррекция частотной характеристики усилителя мощности выполнена с помощью элементов R15, R9, C4.

Точки подключения, обозначенные символами f1 и f2, являются одним токопроводящим проводником. Предусмотрена возможность включения между точками f1 и f2 корректирующего звена, о котором будет сказано далее.

Итак, первый режим настройки аппаратуры АСК заключается в установке усиления элемента X3 в так называемом режиме УК, когда внешняя передаточная функция $H_{\text{вос}}(p)$ отключена (коэффициент связи между обмотками L1 и L2 установлен нулевым), а сама передаточная функция включена в режиме отрицательной обратной связи (входной сигнал элемента X7 поступает непосредственно от точки OUT). Усиление по каналу передаточной функции $H_{\text{ос}}(p)$ установлено 30 о.е. (номинал резистора R22 – 30 кОм).

Амплитудно-частотная (АЧХ) и фазочастотная характеристики (ФЧХ) канала в режиме УК показаны на рис. 4.

Переведем теперь канал в режим АСК: установим коэффициент связи $K = 0,4$ между индуктивностями L1 и L2, что будет соответствовать отношению $U_{\text{вос}}/U_{\text{вх}} = 5$, а также задействуем каскад на элементе X6. Регулировкой номинала резистора R22 установим амплитуду выходного тока на номинальное значение 8,4 А. АЧХ и ФЧХ канала в режиме АСК показаны на рис. 5.

Как видно из рис. 5, фазовая характеристика выравнивается, т. е. теоретически канал в режиме АСК способен компенсировать магнитный момент источника в полосе частот от 20 до 200 Гц, что соответствует ТУ на аппаратуру АСК.

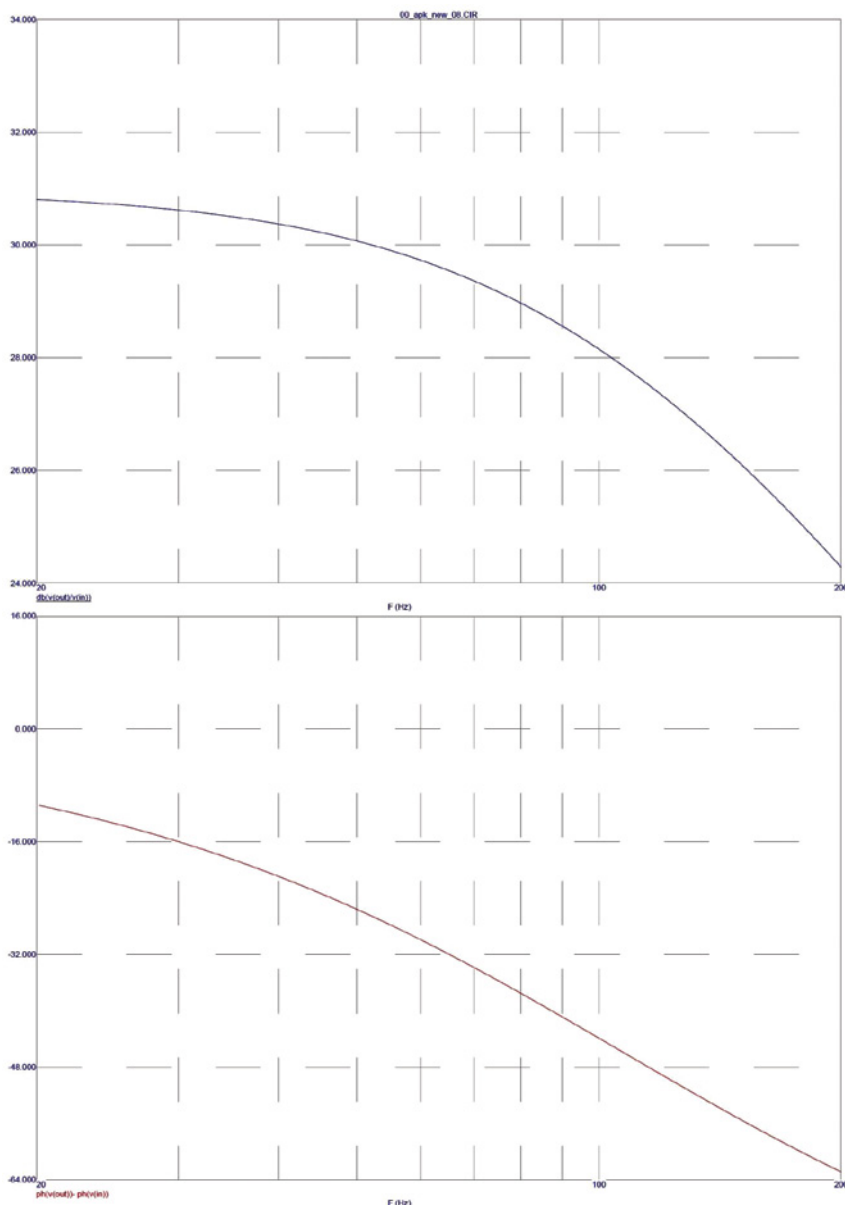


Рис. 4. АЧХ и ФЧХ канала в режиме УК

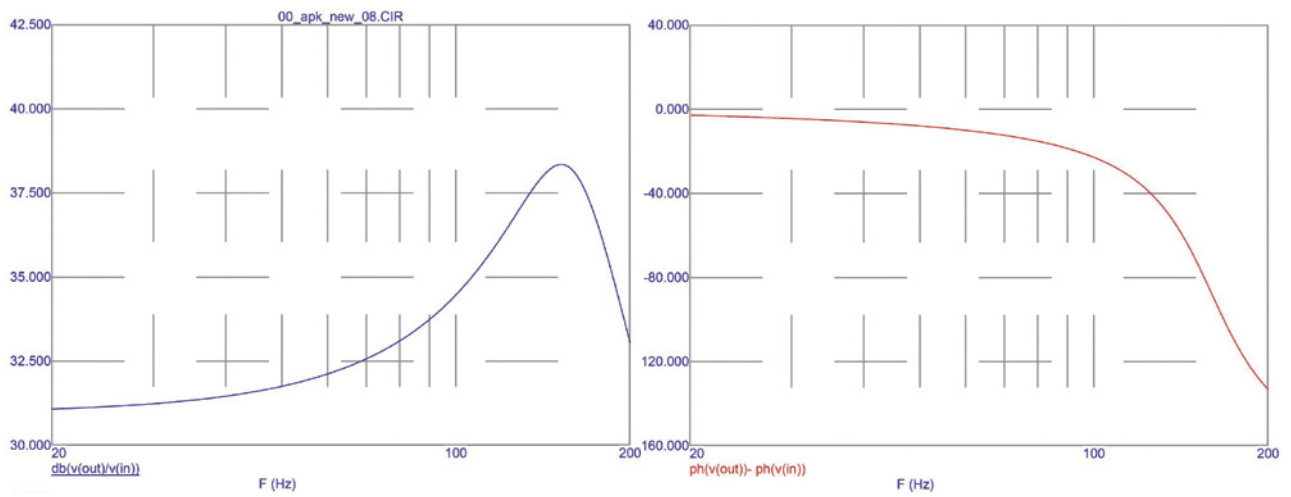


Рис. 5. АЧХ и ФЧХ канала в режиме АСК

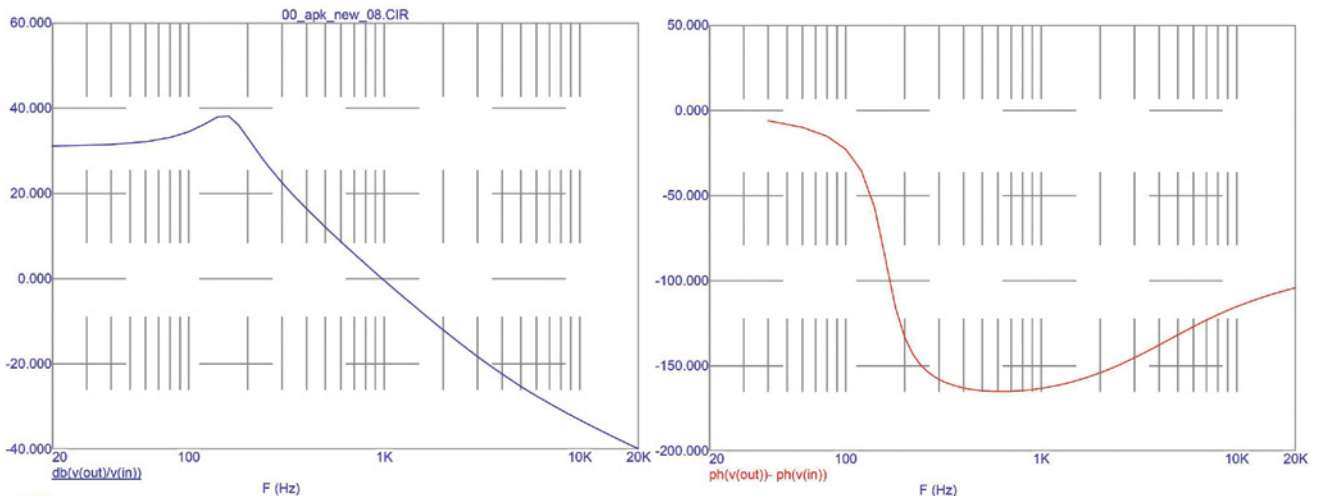


Рис. 6. Вид АЧХ и ФЧХ в режиме АСК за границами диапазона ТУ аппаратуры АСК

Рассматривая модель канала системы АСК, мы идеализировали параметры усилителя мощности (элементы X4, X5, E1 на рис. 3). Фактически же из-за наличия высокого уровня помех на входе канала АСК (рис. 1) управляющий сигнал на входе усилителя мощности имеет весо-мую импульсную составляющую, а канал АСК – небольшой запас по фазовому сдвигу (рис. 6), что приводит к неустой-

чивости канала при воздействии помех, а значит, качество компенсации не только падает, но может и повысить уровень излучаемого низкочастотного электромагнитного поля по причине превращения системы в автогенератор. Режим автогенерации можно прервать либо отключением аппаратуры АСК, либо снижением усиления в канале функции $H_{oc}(p)$, что снижает качество компенсации.

МОДЕЛЬ АСК С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ПОЛОСОВЫМ ФИЛЬТРОМ

Чтобы повысить устойчивость канала АСК к воздействию высокочастотных помех, в модель канала введем активный полосовой фильтр переменных состояний с независимой регулировкой усиления и добротности (рис. 7). Вход фильтра подключается к точке f1

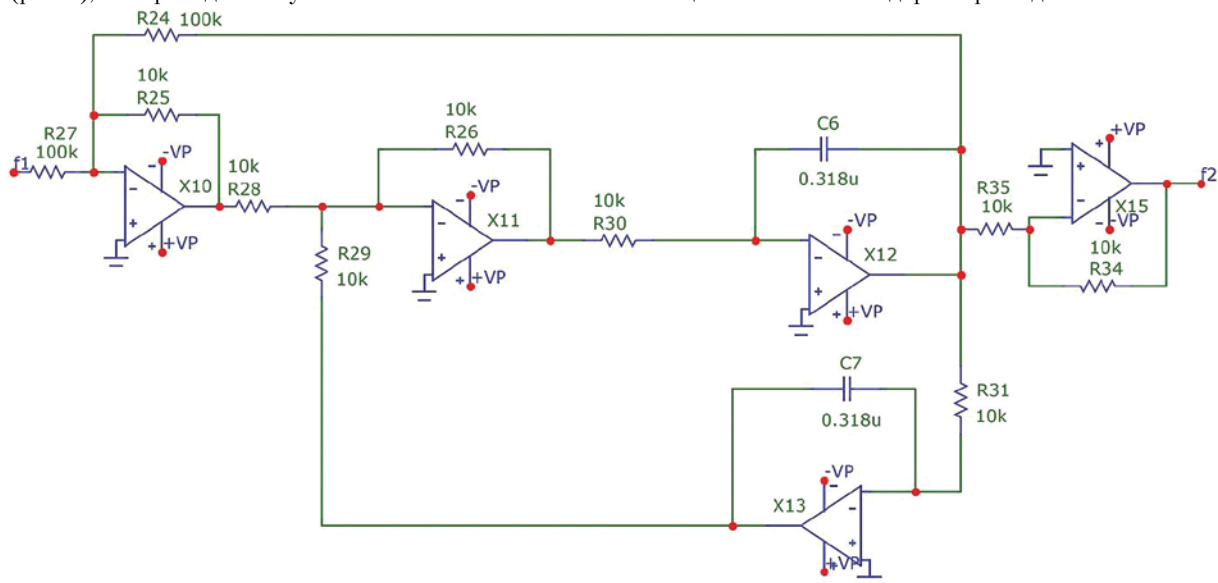


Рис. 7. Полосовой фильтр в составе доработанного канала АСК

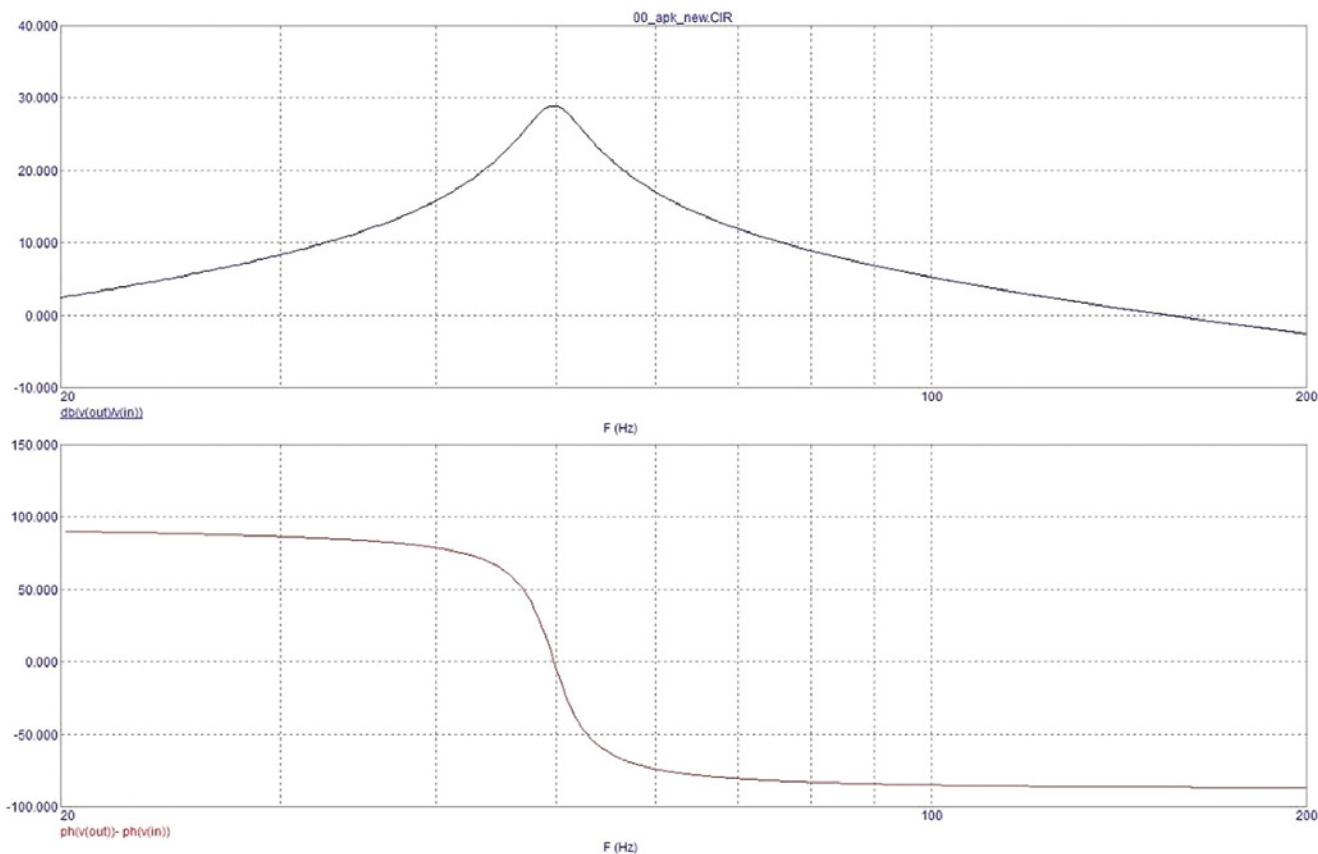


Рис. 8. АЧХ и ФЧХ доработанного канала в режиме АСК

– см. рис. 3, а выход – к точке f2. Номиналы элементов фильтра выбраны так, чтобы центральная частота фильтрации составляла 50 Гц, коэффициент передачи на центральной частоте – 1, добротность – 10.

Настройка модифицированного канала АСК проводится по стандартной методике для аппаратуры АСК: вначале устанавливается номинальный выходной ток регулировкой усиления в режиме УК при отключенной внешней обратной связи и постоянном коэффициенте передачи внутренней обратной связи,

равном 30; затем включаются внешняя обратная связь и инверсия внутренней обратной связи; с помощью регулировки глубины внутренней обратной связи устанавливается номинальный выходной ток.

АЧХ и ФЧХ канала с внутренней полосовой фильтрацией в режиме АСК приведены на рис. 8.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования доработанного канала АСК с полосовой фильтрацией показали, что устойчивость в

петле обратной связи обеспечивается, при этом ослабление высокочастотных помех достигает 30 дБ и более. Введение в состав АСК полосового фильтра повышает помехоустойчивость системы АСК с прямым управлением по величине магнитной индукции, излучаемой объектом компенсации. Учитывая, что полосовой фильтр критичен к разбросу номиналов частотоподающих цепей, при его практической реализации необходимо применять высокоточные компоненты с допустимым разбросом номиналов не более 0,5%. ■

Статья посвящена проблеме использования искусственного интеллекта в процессе разработки автоматизированных систем, комплексов управления от формализованного определения функциональных требований с учетом требований руководящих документов до исследования систем, комплексов при эксплуатации. Целесообразно дальнейшее развитие подходов к моделированию предметной области в рамках системы сквозного концептуального проектирования систем и комплексов управления специального назначения (ССКП СКУ СН).

В настоящее время разработка систем управления, автоматизированных систем (АС), как правило, задается в рамках технических (тактико-технических) заданий (ТЗ) на отдельные образцы с указанием их взаимодействия и носит неформализованный вид. Сравнение функциональных и технических требований к различным образцам (на первых стадиях создания АС [1]), взаимодействия систем в рамках единой концепции применения (управления) требует от разработчика обширных знаний, большого количества времени, внимания и отработанных за годы практики проектирования аналитических способностей и проводится реально на стадии эскизного проектирования (ЭП). При большом количестве НИОКР (например, по государственной программе вооружения) подобный анализ в целях оценки непротиворечивости системных требований и эффективности принимаемых решений по управлению системами (до выдачи ТЗ) становится трудновыполнимым. Положение усугубляется при разработке комплекса систем, управляющих разнородными подсистемами.

Таким образом, на практике до выдачи ТЗ и выполнения НИОКР требуется проработка решений по управлению системой (-ами) в рамках принятых моделей функционирования перспективных подсистем. Существующий уровень прикладных онтологий проектирования не позволяет подготовить формализованные требования для такой оценки. Модели представления предметной области, требований документов и на их основе функционирования перспективных систем управления в настоящее время отсутствуют.

Формализация указанной деятельности, процессов управления, построение прикладных онтологий и формализмов, их комплексирование, разработка моделей и методик оценки функционирования систем позволит рассмотреть варианты автоматизации проектирования СКУ, расширит понятие информационной поддержки систем, создаст основу для создания цифровых двойников процессов управления систем, комплексов.

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЕ СКВОЗНОГО КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С.М. Доценко, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, советник ген. директора,

Д.В. Звездарёв, канд. техн. наук, ген. директор,

В.В. Игумнов, канд. техн. наук, советник ген. директора,

И.А. Устинов, канд. техн. наук, советник ген. директора,

С.В. Филиппов, канд. техн. наук, зам. начальника управления, АО НПО «Импульс»,

Е.А. Рылов, канд. техн. наук, ген. директор,

И.А. Полковников, канд. техн. наук, зам. ген. директора – начальник НТЦ ИКС НК, АО «ПКБ «РИО»,

контакт. тел. +7(905) 289 4413, polkovnikovi@pkb-rio.com

Цель написания статьи – определить термин «система сквозного концептуального проектирования» систем, комплексов управления (АС), назначение системы, объекты ее эксплуатации, а также сформировать предложения по формализации предметной области и требований руководящих документов.

Объект исследования – процесс разработки АС с использованием методов искусственного интеллекта.

Актуальность статьи определяется требованием широкого развития и применения искусственного интеллекта в деятельности критически важных организаций и систем управления, требованием импортозамещения – перехода с импортных программных средств проектирования систем управления на отечественные средства, необходимостью описания базовых положений внедрения такого подхода.

Научная новизна исследований, ограниченных рамками данной статьи, состоит:

а) в самой постановке проблемы, определении и введении в терминологию понятия «системы сквозного концептуального проектирования» систем и комплексов управления;

б) в рекомендациях по проведению прикладного онтологического проектирования и формализации систем управления;

в) в определении необходимости развития содержания понятия «ИПИ-технология» в части систем;

г) во взаимосвязи направлений дальнейших исследований: онтологического инжиниринга; методик сравнительной оценки требований систем; аппарата формализмов для моделирования алгоритмов систем, генерации текста рабочих

документов; цифровых двойников процессов управления систем, комплексов.

Авторы ставят проблему, которая ранее комплексно не освещалась в публикациях. Формализация функциональных требований предметной области, методы представления знаний рассматривались локально, как пример, не применительно к сложным процессам создания иерархических систем управления.

Наиболее важными аспектами исследования, которые раскрывают авторы в статье, являются:

- однозначность понимания термина «сквозное концептуальное проектирование» систем управления;
- определение системы СКП СКУ СН, ее цели и объектов эксплуатации;
- онтологические аспекты СКП СКУ.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМИНА «СКВОЗНОЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ» В ТЕХНИКЕ

Термин «сквозное проектирование» часто используется при описании функционирования систем автоматизированного проектирования (САПР), AutoCAD, например:

- «сквозное проектирование в T-FLEX» – автоматизированное проектирование и технологическая подготовка производства в среде российского программного комплекса T-FLEX, объединяющей системы CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM, обеспечивающей изготовление изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) [2];
- «сквозной процесс проектирования электрических систем» на базе 3DEXPERIENCE, класс систем CAD/CAM [3];
- «сквозной цикл автоматизированно-

го проектирования радиоэлектронной аппаратуры в среде САПР «Delta Design» [4] – обеспечивает автоматизацию сквозного цикла проектирования электронных ячеек [5]; разработка принципиальных электрических схем; конструирование печатных плат; сквозная верификация проектных данных на полноту, ссылочную целостность и непротиворечивость; выпуск полного комплекта конструкторской документации и формирование данных для изготовления электронного устройства; внесение изменений в проектные спецификации с последующим перепроектированием;

- «сквозное проектирование в Autodesk AutoCAD с использованием ЛОЦ-МАН: ПГС» – организация групповой работы с возможностью мгновенного обновления повторяющихся графических данных (DWG-файлы) на всех чертежах проекта: генплан, план проектируемого здания, проездов, тротуаров, учет топографической ситуации и т.д. [6].

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМИНА «КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ» ПРИ РАЗРАБОТКЕ АСУ

В частности:

- «концептуальное проектирование реляционных баз данных (РБД)» системы управления с основными компонентами языка UML [7], например концептуальная схема РБД, представляет собой описание основных сущностей (таблиц) и связей между ними без конкретизации СУБД;
- «концептуальная модель системы управления» на языке UML (представляется многообразием диаграмм языка моделирования UML 2.0);
- «концептуальное проектирование АСУ» [8] – построение и описание логического содержания моделей, включая математические, когда первоначально меньше внимания уделяется конкретным деталям аппаратной платформы и физической реализации;
- «концептуальное проектирование: теория изобретательства» [9] – новый этап теории изобретательства. Теоретический материал изложен в рамках единой системы понятий, базирующихся на категориях тернарной онтологии;
- «концептуальное проектирование технических систем» [10] – определяется как начальная стадия проектирования, на которой принимаются решения, определяющие последующий облик, и проводится исследование и согласование параметров созданных технических решений с возможной их организацией.

Последнее определение наиболее лаконично отражает суть концептуального проектирования систем.

Авторы исследования предлагают результаты онтологического инжиниринга [11], проведенного на начальных стадиях создания АС, использовать для формирования формализованных требований, документов (концепции АС, ТЗ). На их основе разрабатываются модели функционирования и алгоритмы управления с генерацией документов. На основе модели и алгоритмов создаются цифровые двойники процессов управления систем, способные имитировать управление объектами на концептуальном уровне (т.е. реализации алгоритмов). Это позволит полностью моделировать алгоритмы, включая взаимодействие систем. Сопровождение систем позволит выявить недостатки в средствах онтологического инжиниринга, формирования модели и алгоритмов управления АС.

Таким образом, формализованные требования, результаты онтологического инжиниринга, полученные на начальных стадиях проектирования, используются на всех стадиях создания АС («сквозное» применение формализованных требований по стадиям создания АС). Для указанного процесса и предлагается ввести термин «система сквозного концептуального проектирования» (система СКП). Для ее функционирования необходима информационная поддержка, в том числе поддержка стадий создания АС, отличная от задач информационной поддержки изделий (ИПИ-технологии).

Наличие разработанных моделей функционирования АС, формализованных документов (концепции, ТЗ и др.) создаст прецедент возможности новых методик оценки и формирования государственных программ.

ЦЕЛЬ СОЗДАНИЯ И ОБЪЕКТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ СКП СКУ СМ

Целью разработки системы СКП СКУ СМ является значительное повышение эффективности процесса создания АС на основе его автоматизации с учетом использования идей, теории и практики современных технологий проектирования (моделирования) систем управления, методов искусственного интеллекта.

Методическое обеспечение основывается на существующем научно-техническом заделе, использовании методов искусственного интеллекта и реализуется как альтернатива зарубежным средствам проектирования программного обеспечения и систем.

Основными участниками процесса проектирования и эксплуатации СКУ являются Центральные органы управления министерства, их подразделения и подразделения отраслевых и региональных органов управления (ОУ), центральные научно-исследовательские институты министерства (ЦНИИ), органы управления Заказчика, органы управления пользователей, эксплуатирующих СКУ, головные разработчики СКУ предприятий и кооперации предприятий. Всех участников можно подразделить на четыре группы [12] (рис. 1).

Группа 1: разработчики доктрин, концепций, системы управления, разработчики государственных программ (ГП) – сотрудники и операторы Центральных органов управления (ЦОУ) министерства.

Группа 2: разработчики оперативных требований и тактико-технических заданий на НИОКР сотрудники-операторы подразделений центральных и отраслевых (региональных) органов управления, сотрудники Центральных научно-исследовательских институтов (ЦНИИ) министерства.

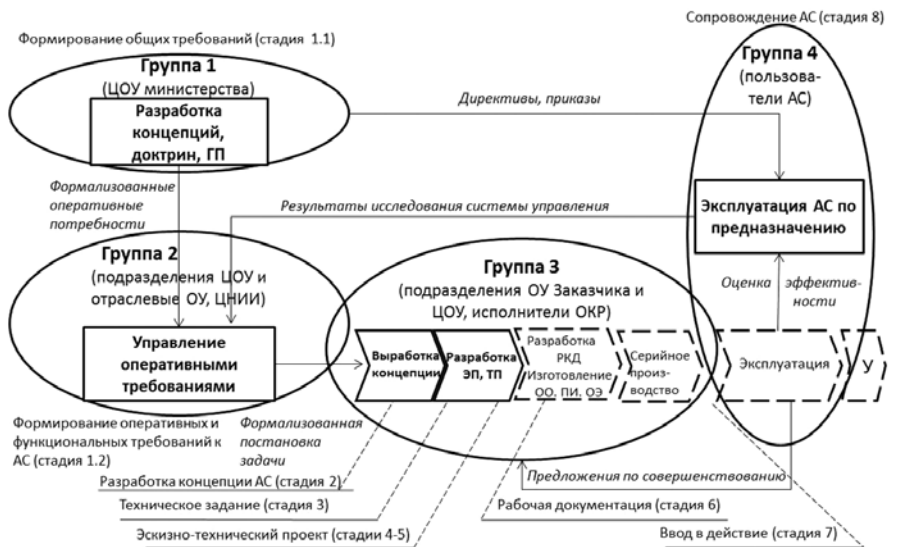


Рис. 1. Стадии создания автоматизированных систем, участники процесса и этапы их жизненного цикла

Группа 3: разработчики систем и комплексов управления – сотрудники-операторы подразделений органов управления Заказчика и центральных, сотрудники ЦНИИ министерства, кооперация промышленных предприятий в лице главных конструкторов (ГК) АС, проектировщиков, головных и ответственных исполнителей.

Группа 4: операторы-пользователи разрабатываемых систем и комплексов управления – сотрудники органов управления. Группа может расширяться за счет сотрудников ЦНИИ министерства, отраслевых НИИ, представителями головного исполнителя (ГИ) ОКР по созданию конкретного образца СКУ.

Формализацию требований и моделирование в обеспечение ССКП СКУ СН предполагается осуществлять в «узлах» (создаваемых центрах или группах) моделирования (сопровождения ССКП СКУ СН) на рабочих местах организаций–участников процесса (при реализации спиральной модели разработки СКУ) и в рамках аванпроекта, НИР, ОКР, а также в системных работах по сопровождению ССКП СКУ СН.

Центры (группы) моделирования могут быть организованы для сопровождения НИОКР, в то время как основную нагрузку по формализации и моделированию возьмут центры моделирования ЦНИИ министерства, группы моделирования головных предприятий-разработчиков СКУ.

Таким образом, объектами эксплуатации ССКП СКУ СН являются создаваемые центры (группы) моделирования указанных организаций и предприятий участников процесса создания АС.

ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМЫ СКП СКУ. РОЛЬ И МЕСТО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ССКП

Процесс «сквозного концептуального проектирования» возможен при единстве терминов, определений, формализмов, с помощью которых описываются предметная область, требования руководящих документов, постановок задач и алгоритмов управления. Под формализмами СКУ понимается формальная система, используемая в качестве средства для представления знаний [13]. Формализм СКУ включает: языковой (описательный) компонент; изобразительный (графический) компонент; алфавит, синтаксис и семантику (упорядочивание, соединение слов в связный текст); процедурный (алгоритмический, вычислительный) компонент; аксиоматика (утверждения, не требующие доказательств); продукционные правила (правила вывода новых теорем: объект (-ы), условие (-я), действие (-я), другой (-ие) объект (-ы)); признак принадлежности документу; признак предназначе-

ния формализма (с указанием видовой принадлежности и СКУ); служебная информация (принадлежность версии, дата и исполнитель верификации и др.).

Процесс должны возглавлять и контролировать центры моделирования ЦОУ и ЦНИИ министерства. На рис. 2 представлена принципиальная последовательность формализации предметной области «Заказчик–Пользователь» высшего уровня, включая формализацию требований руководящих документов: Доктрина, Концепция применения АС, Положение об управлении силами министерства.

Формализация требований руководящих документов осуществляется по мере необходимости определения требований к создаваемым перспективным системам управления и их формализации носит общий характер и может быть применена для любых АС (в части оперативных и технических требований к ним, а также терминов и определений) для оперативности их обработки.

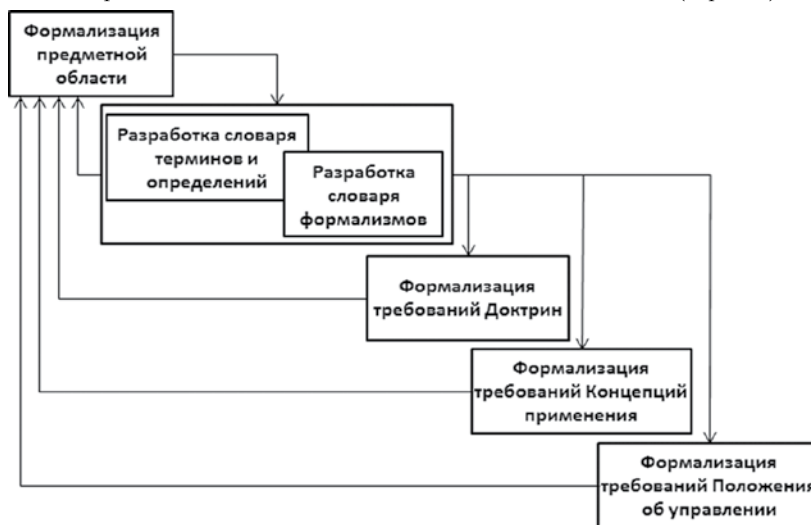


Рис. 2. Принципиальная последовательность формализации предметной области в рамках деятельности 1-й группы



Рис. 3. Принципиальная последовательность выработки формализованных требований к отдельным и отраслевым (видовым) системам управления

Формализмы могут быть различной степени сложности (наполненности), общей или видовой (отраслевой) принадлежности. Формирование и использование формализмов по большей части осуществляется проектировщиками СКУ при описании требований текстовых документов, функционирования СКУ, схем алгоритмов [14] (рис. 3).

1-я группа центров моделирования разрабатывает (на рис. 3 обозначена единицей) формализованные требования руководящих документов ФТРД_k⁰, словарь терминов и определений СТО_i⁰, словарь формализмов СФ_j⁰ (здесь и далее – верхний индекс означает принадлежность к виду, отрасли, нижний – порядковый номер разработки СКУ отрасли) для высшего звена управления (министерства в целом).

2-я группа с учетом результатов работы 1-й группы выполняет практически те же действия (см. рис. 2) в рамках зоны своей ответственности (отрасли). Допол-

нительно 2-я группа занимается созданием перспективных систем и комплексов управления, разрабатывая формализованные требования к СКУ и словари: формализованные требования руководящих документов (отраслевые ФТР- D_k^n) и технические требования (отраслевые ФТТТ $_i^n$), задания на НИОКР, постановки задач (ПЗ) на моделирование разрабатываемых систем, комплексов, сопровождая их словарем терминов и определений (отраслевые СТО $_i^n$), словарем формализмов (отраслевые СФ $_i^n$) в части ПЗ для более глубокой формализации и моделирования на предприятиях-разработчиках (3-я группа). При этом расширяются и уточняются указанные словари с передачей предложений по уточнению в центры моделирования 2-й и 1-й групп для верификации и обобщения с последующим подтверждением.

Разрабатываемые формализмы кроме апробации при разработке СКУ должны проходить верификацию на непротиворечивость уже принятым формализмам в целях сохранения целостности системы терминов и формализмов. В противном случае необходимо добиваться непротиворечивости терминов и формализмов уточнением включенных в словари (СТО и СФ) положений. Формализмы предполагается разрабатывать с использованием новых программных средств автоматизации данного процесса операторами 1-й, 2-й и 3-й групп пользователей.

Поскольку формализмы СКУ активно разрабатываются и в перспективе будут использоваться при проектировании алгоритмов управления СКУ, такая работа потребует организации спиральной модели жизненного цикла систем: когда на незавершенном этапе происходит переход к следующему с постепенным приближением к идеалу (рис. 4) в сроки проведения этапов НИОКР с использованием нейросетей.

При этом полагается, что первые версии логической модели системы и версии первых алгоритмов управления (3-я группа) потребуют частого согласования версий одного алгоритма (протокола) с отраслевым НИИ (ЦНИИ) и управленцами заказывающих отрасли и региона. По мере приобретения опыта разработки и увеличения количества созданных алгоритмов обращения будут происходить реже. Уведомление операторов отрасли и министерства проводится по завершении разработки алгоритмов в части словаря терминов и определений и словаря формализмов перспективной СКУ для контроля непротиворечивости предметной области и обобщения опыта её формализации.

Таким образом, роль искусственного интеллекта в ССКП СКУ СН определяется степенью формализации предметных областей отдельных и отраслевых СКУ, региональных АСУ или онтологическим инжинирингом, применения нейросетей, точностью имитации функционирования систем и комплексов в соответствии с алгоритмами управления. Место искусственного интеллекта в ССКП СКУ СН определяется его применением практически на всех стадиях создания АС: для представления знаний предметных областей, построения шаблонов онтологий [15], их комплексирования, формализации требований руководящих документов, разработки формализованных постановок, концепций и технических заданий на НИОКР с использованием нейросетей, результатов при построении моделей и алгоритмов управления отдельных СКУ.

Направлениями дальнейших исследований являются разработка шаблонов онтологий, наработка данных по формализации требований документов, информационной модели ССКП, предложений по ИПИ-технологии для СКУ, формализованной концепции АС и ТЗ на ОКР, сравнительным оценкам ТЗ, кон-

цептуальным моделям функционирования систем и алгоритмов управления, генерации документов, цифровым двойникам процессов управления систем, комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 59793–2021 КСАС. Автоматизированные системы. Стадии создания. – М.: Российский институт стандартизации, 2021.
2. Бунаков П. Ю. Сквозное проектирование в T-FLEX. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 400 с. (Серия «Проектирование»).
3. Сквозной процесс проектирования электрических систем на базе 3DEXPERIENCE. – Блог компании DassaultSystemes. Проектирование и рефакторинг, CAD/CAM, IT-компания. <https://habr.com/ru/company/ds/blog/430778/>.
4. Абрамов А. Т. Сквозной цикл автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры в среде САПР Delta Design. Автоматизация инженерной деятельности//CAD/CAM/CAE Observer. – 2018. – № 8. – С. 62–75.
5. Национальный стандарт ГОСТ Р 52003–2003. Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2020. – 11 с.
6. Рябицев А. Методика организации «сквозного проектирования» в Autodesk AutoCAD с использованием ЛОЦМАН: ПГС//САПР и графика. – 2013. – № 11. – С. 30–34.
7. Кудинов А. А. Проектирование автоматизированных систем. Указания к практическим занятиям по объектно-ориентированным методам проектирования. Учеб. пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2010. – 81 с.
8. Никаноров С. П., Никитина Н. К., Теслинов А. Г. Введение в концептуальное проектирование АСУ: анализ и синтез структур. – М.: РВСН, 1995. – 234 с.
9. Глазунов В. Н. Концептуальное проектирование: теория изобретательства. – <https://metodolog.ru> 5 встреча_23.10.19_....pdf.
10. Концептуальное проектирование – Википедия. – <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
11. Авдошин С. М., М. П. Шатилов. Онтологический инжиниринг//Бизнес-информатика. – 2007. – № 2. – С. 3–13.
12. Методология проектирования систем на основе архитектурного подхода. DoDAF, ver. 1.5. – М.: ФГУП «ЦНИИ ЭИСУ», 2010. – 47 с.
13. Формализмы, их применение для компьютерного представления знаний. – www://studfile.net > preview > 9287216 > page: 34.
14. ГОСТ Р 59795–2021. Информационные технологии. КСАС. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов. – М.: Российский институт стандартизации, 2021.
15. Дородных Н. О., Николайчук О. А., Юрин А. Ю. Использование онтологических шаблонов содержания при построении баз знаний для технического обслуживания и ремонта авиационной техники//Онтология проектирования. – 2022. – Т. 12. – № 2. – С. 158–167. ■



Рис. 4. Спиральная модель жизненного цикла СКУ при разработке формализмов

В условиях современного боя роль технических средств связи постоянно возрастает, они становятся основным средством управления войсками и оружием. В связи с этим главным направлением развития системы управления является создание и оснащение войск современными средствами связи и автоматизированными системами управления, работающими с высокой эффективностью и достигающими актуальных показателей при обеспечении требований к системе управления. В настоящее время распространенной услугой на пунктах управления, командно-наблюдательных пунктах и даже передовых пунктах управлений является видеоконференцсвязь (ВКС). ВКС предназначена для повышения эффективности работы органов военного управления в процессе принятия решений при подготовке и ведении ими боевых действий и в повседневной жизнедеятельности [1]. ВКС – это телекоммуникационная технология интерактивного участия двух и более удаленных абонентов, при котором между ними происходит обмен аудио- и видеoinформацией в режиме реального времени.

Основную роль в организации видеоконференцсвязи играют каналы связи между абонентами, т. е. транспортная сеть передачи данных. Условно трафик передачи данных делят на три категории: трафик реального времени, трафик транзакций, трафик данных. Трафик с аудио- и видеoinформацией (видеотрафик) относится к трафику реального времени и обладает определенными особенностями: требует значительной пропускной способности канала, минимизации времени доставки видеок кадров до получателя, регулярного характера задержек между пакетами. Например, допустимая задержка передачи пакета не должна превышать 0,1 с, иначе могут возникать заметные искажения изображений и разборчивости речи абонента.

Для распределения нагрузки в IP-сетях применяется технология QoS (Quality of Service – качество обслуживания), которая представляет собой набор технологий, обеспечивающих приоритетное использование канала связи некоторыми видами трафика или программами по сравнению с методом «равных возможностей». С помощью данной технологии для каждой категории трафика устанавливаются присвоенные им приоритеты. Трафик с более высоким приоритетом обрабатывается в первую очередь.

Требования к условиям передачи определяются характером обеспечиваемого трафика. Классы качества доставки информации в IP-сетях приведены в таблице.

ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЕМА ВИДЕОТРАФИКА В КАНАЛАХ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

А.В. Давыдов, канд. техн. наук, доцент, зав. базовой кафедрой СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, учебный центр АО «НПО Завод «Волна»,
С.С. Попов, канд. техн. наук, зам. начальника кафедры,
А.С. Попов, канд. техн. наук, доцент,
 Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище,
 контакт. тел. +7 (911) 950 7893, +7 (920) 636 4439, +7 (920) 988 8003

Таблица

Классы качества доставки информации в IP-сетях [2]

Класс качества доставки	Задержка передачи IP-пакетов, мс	Вариация задержки IP-пакетов, мс	Коэффициент потери IP-пакетов	Доля искаженных IP-пакетов
0 (приоритет 1)	100	50	10 ⁻³	10 ⁻⁴
1 (приоритет 1)	400	50		
2 (приоритет 2)	100	U		
3 (приоритет 2)	400	U		
4 (приоритет 3)	1000	U		
5 (приоритет 3)	Не нормируется	Не нормируется	не нормируется	не нормируется

Классы «0» и «1» предназначены для обмена информацией (аудио, видео) в реальном времени и имеют преимущество на обработку по сравнению с пакетами других классов. Соответственно выполнение норм задержки передачи и вариации задержки IP-пакетов позволяют обеспечить качественную передачу аудио-, видеoinформации.

При возникновении чрезвычайных ситуаций (боевых действий), когда коммуникации серьезно повреждены или вовсе разрушены, а транспортная сеть связи, возможно, распалась на отдельные несвязанные между собой фрагменты, основу первичной сети связи составляют радиоканалы, которые являются низкоскоростными по сравнению с проводными или волоконно-оптическими. При этом IP-пакеты, циркулирующие в открытом сегменте сети, будут принудительно обезличены (выровнены по длине и зашифрованы, включая поле TOS, Type of Service). Возникает задача предоставления пользователям услуги видеоконференцсвязи при ограниченном ресурсе каналов первичной (физический и каналный уровни модели взаимодействия открытых систем) и транспортной сетей связи (сетевой и транспортный уровни) [2, 3].

Формализация задачи распределения трафика между каналами, исходящими от маршрутизатора узла связи, может быть выполнена в терминах линейного программирования. Выбрав время задержки пакетов $t_{\text{зад } i}$ домини-

рующим показателем качества их доставки, целевая функция примет вид $P = D + Z$,

$$\sum_{i=1}^{N_k} b_i a_i \sum_{j=1}^{N_k} s_{ij} (c_j - x_{ij}) \rightarrow \max : t_{\text{зад } i} \leq t_{\text{зад } i}^* \quad (1)$$

где N_k , N_k – количество требуемых сессий и количество каналов связи соответственно; b_i – значимость (вес) узла связи, с которым проводится информационный обмен в i -й сессии; a_i – значимость (вес) i -й сессии, равный значимости предоставляемой в ходе ее телекоммуникационной услуги; s_{ij} – элемент, определяющий доступность «номер сессии – канал связи»: $s_{ij} = 1$, если трафик i -й сессии можно передавать по j -му каналу, иначе $s_{ij} = 0$; c_j – скорость передачи в j -м канале связи, пакет/с; $\{x_{ij}\}$ – множество переменных, требующих определения: x_{ij} , равно интенсивности трафика i -й сессии (пакет/с), передаваемого по j -му каналу связи; $t_{\text{зад } i}$, $t_{\text{зад } i}^*$ – реальное и максимально допустимое среднее время задержки пакетов i -й сессии, с.

Длительности цикла контроля c_j , $t_{\text{зад } i}$ не равны между собой. Величина c_j контролируется средствами связи, непосредственно взаимодействующими с маршрутизатором. Величина $t_{\text{зад } i}$ характеризует транспортное соединение, определяется по набору пакетов, переданных между оконечными пользовательскими устройствами по транспортной сети, и представляет собой статистическую величину, требующую время на ее вычисление. Поэтому длительность цикла контроля $t_{\text{зад } i}$ будет значительно больше.

Относительно целевой функции (1) можно констатировать:

1) при ее максимизации достигается оптимальное распределение трафика между каналами связи при фиксированном наборе обслуживаемых сессий, но при этом в случае недостатка ресурса телекоммуникационной сети не решается задача исключения «лишних» сессий из перечня обслуживаемых;

2) неясно, как в алгоритме максимизации учитывать условия на $t_{\text{зад}i}$, так как в приведенной записи $t_{\text{зад}i}$ не входит в систему ограничений;

3) при изменении исходных данных задача линейного программирования (ЗЛП) должна решаться заново, т.е. распределение трафика является циклической (итерационной) процедурой.

Следует отметить, что в условиях передачи разнородного трафика его приоритизацию осуществляет маршрутизатор согласно классам QoS [4]. В случае $t_{\text{зад}i} > t_{\text{зад}i}^*$, т.е. при недостатке канальной скорости происходит вычеркивание «лишних» услуг из перечня. В ряде случаев этого можно избежать. Для этого следует реализовать адаптацию трафика видеоизображения (от 140 кбит/с до 1,8 Мбит/с) к информационной скорости канала связи. Требуемая скорость передачи видеотрафика определяется [5, 6]:

- разрешением;
- числом кадров в секунду;
- кодеком сжатия видео;
- количеством видеокдра.

Размер несжатого видеокдра – это произведение ширины и высоты изображения в пикселях, умноженное на глубину цвета. Сам размер кадра не зависит от того, что изображено в кадре, т.е. размер файла без сжатия будет одинаков для любого изображения.

Глубина цвета задаётся количеством бит, используемым для кодирования цвета точки (от 1 до 24 бит). Современные IP-видеокамеры отображают изображение с глубиной до 24 бит.

Тогда размер 1-го кадра без сжатия ρ , бит, вычисляется по формуле

$$\rho = h \cdot a \cdot g, \quad (2)$$

где h – высота кадра, пиксель; a – ширина кадра, пиксель; g – глубина цвета, бит.

Объем кадра с учетом сжатия $\rho_{\text{ск}}$, бит, определяется выражением

$$\rho_{\text{ск}} = \frac{\rho}{k}, \quad (3)$$

где k – коэффициент сжатия, который определяется используемым видеокдеком.

Для потокового видео рекомендуется применять кодек H.264, который позволяет сжимать максимально эффективно при наибольшей доступной на сегодня степени сжатия [5, 6].

Тогда требуемая скорость передачи для одной IP-видеокамеры v , кбит/с, рассчитывается следующим образом:

$$v = \frac{\rho_{\text{ск}} \cdot f}{1000}, \quad (4)$$

где f – количество кадров видеоизображения в секунду, к/с.

Необходимо обратить внимание, что величина x_{ij} выражается в пакетах в секунду, а v – в битах в секунду. Это связано с тем, что большая часть производительности сетевого оборудования расходуется, как правило, на обработку заголовков пакетов: оборудование должно принять пакет, найти для него подходящий путь коммутации, сформировать новый заголовок (если нужно) и передать дальше. Очевидно, что в этом случае играет роль не объем данных, передаваемых в единицу времени, а количество пакетов.

Размер пакета P , бит, определяется как

$$P = D + Z, \quad (5)$$

где D – размер поля данных, бит; Z – размер поля заголовка, бит.

Перейдем от скорости v бит/с к v' пакет/с

$$v' = \frac{Z}{D+Z} \cdot v, \quad (6)$$

Минимальное качество обслуживания для видеоизображения определяется методом экспертной оценки. В случае, если пропускная способность канала не обеспечивает требуемого качества обслуживания видеосессии, то данная сессия не обслуживается.

С целью учета условий по $t_{\text{зад}i}$ задача распределения трафика формулируется с учетом ограничений: (1) \rightarrow max, с ограничениями

$$\begin{cases} x_{ij} \geq 0, i=1 \dots N_c, j=1 \dots N_k; \\ \sum_{j=1}^{N_k} x_{ij} = r_i, i=1 \dots N_c; \\ \sum_{i=1}^{N_c} x_{ij} \leq c_{j(m)}, j=1 \dots N_k; \\ x_{ij} \leq v'_{ij(m)}, i=1 \dots N_c, j=1 \dots N_k; \end{cases} \quad (7)$$

где $v'_{ij(m)}$ – скорость передачи пакетов i -й сессии по j -му транспортному соединению, изменяются в зависимости от $t_{\text{зад}ij}^*$ пакет/с; $c_{j(m)}$ – скорость передачи пакетов в j -м канале радиосвязи на m -й итерации, пакет/с; r_i – пропускная способность транспортного соединения, пакет/с.

В системе (7) первое ограничение указывает диапазон изменения переменных. Второе ограничение формулирует тот факт, что i -й сессии должна быть предоставлена требуемая пропускная способность транспортного соединения r_i . Третье ограничение указывает на то, что интенсивность трафика различных сессий, передаваемых по радиоканалу, не должна превосходить скорости передачи данного канала.

Процедура ограничения скорости передачи пакетов по транспортному соединению $v'_{ij(m)}$ с учетом величины $t_{\text{зад}ij}$ предлагается следующей. Изначально (начальное состояние, нулевая итерация) для трафика i -й сессии, передаваемого по j -му каналу – $v'_{ij(m)} = c_j$. Данное равенство фактически означает, что по величине $t_{\text{зад}ij}$ ограничения на скорость передачи трафика отсутствуют, так как условие $x_{ij} \leq c_j$ слабее третьего условия в (7).

На последующих итерациях выражение (7) примет вид

$$\begin{cases} v'_{ij(m)} = v'_{ij(m-1)} - \Delta, \\ \text{если } t_{\text{зад}ij(m-1)} \geq t_{\text{зад}ij}^*; \\ v'_{ij(m)} = v'_{ij(m-1)}, \\ \text{если } t_{\text{зад}ij(m-1)} \leq t_{\text{зад}ij}^* < t_{\text{зад}ij(m-2)}; \\ v'_{ij(m)} = v'_{ij(m-1)}, \\ \text{если } t_{\text{зад}ij(m-1)} \leq t_{\text{зад}ij(m-1)} \leq t_{\text{зад}ij}^*; \\ v'_{ij(m)} = v'_{ij(m-1)}, \\ \text{если } t_{\text{зад}ij}^* \geq t_{\text{зад}ij(m-2)} > t_{\text{зад}ij(m-1)}, \end{cases} \quad (8)$$

где Δ – шаг квантования по величине v'_{ij} – пакет/с; m – номер итерации; $t_{\text{зад}ij(m-1)}$ – среднее время задержки пакетов i -й сессии, переданных по j -му каналу связи, измеренное на $(m-1)$ -й итерации, с.

Графическая иллюстрация изменения $v'_{ij(m)}$ в зависимости от $t_{\text{зад}ij(m)}$ представлена на рис. 1.

Цифрами в кругах обозначен номер того условия из (8), на основании которого изменилось $v'_{ij(m)}$. Стрелка мелкого штриха указывает на значение $t_{\text{зад}ij(m)}$, полученное по результатам контроля после применения ограничения $v'_{ij(m)}$.

Второе условие из (8) затрагивает случай улучшения работы транспортной сети и перехода величиной $t_{\text{зад}ij}$ уровня $t_{\text{зад}ij}^*$ «сверху вниз».

Третье условие затрагивает случай стабильного функционирования транспортной сети, когда величина $t_{\text{зад}ij}$ не уменьшается, но остается в пределах нормы (меньше $t_{\text{зад}ij}^*$).

Четвертое условие затрагивает случай улучшения функционирования транспортной сети, когда величина $t_{\text{зад}ij}$ уменьшается в пределах нормы (меньше $t_{\text{зад}ij}^*$). При этом можно ослабить ограничения на максимально допустимую скорость передачи пакетов, а следовательно, увеличить $v'_{ij(m)}$. То есть, варьируя качество видеоизображения (2), можно максимально полно использовать ресурсы транспортной сети. Только в случае критического уменьшения пропускной способности транспортной сети придется ограничить количество предоставляемых телекоммуникационных услуг.

Сложность вычеркивания «лишних» телекоммуникационных услуг из

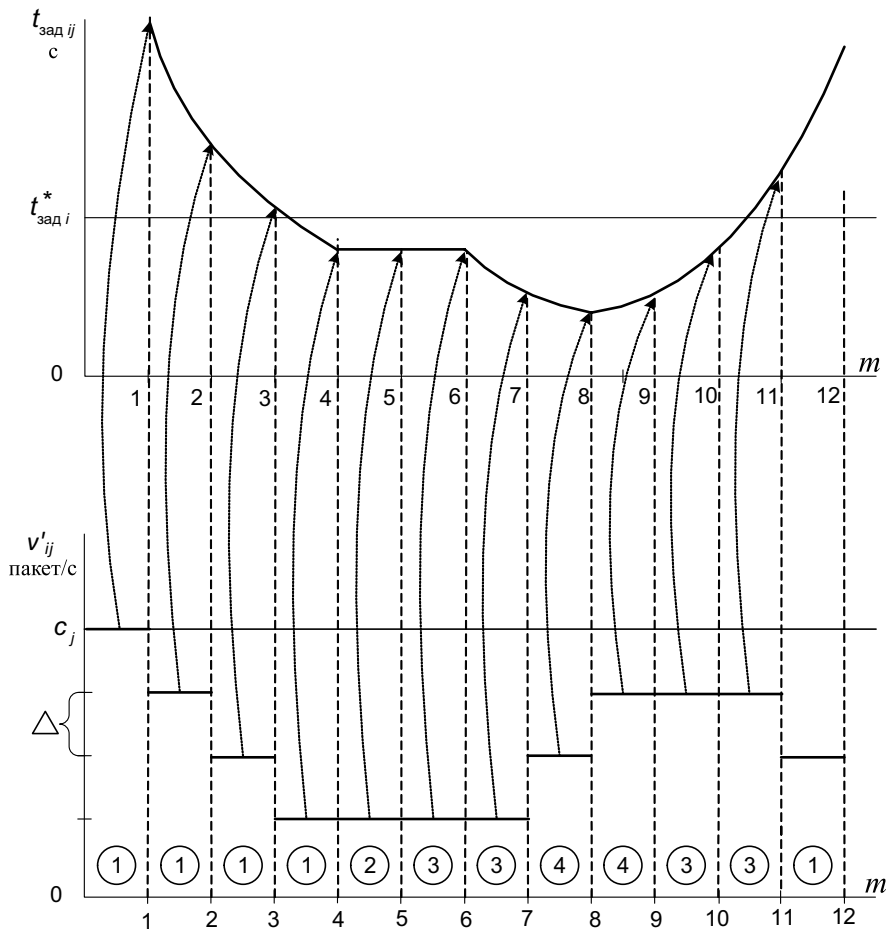


Рис. 1. Иллюстрация изменения $v'_{ij(m)}$ на m -й итерации в зависимости от $t_{зад ij}^*$. $t_{зад i}^*$ – реальное и максимально допустимое среднее время задержки пакетов i -й сессии, $v'_{ij(m)}$ – скорость передачи пакетов i -й сессии по j -му транспортному соединению, c_j – скорость передачи пакетов в j -м канале радиосвязи, Δ – шаг квантования по величине v'_{ij} , m – номер итерации

перечня состоит в том, что критерий несовместимости системы ограничений (7) не указывает, какие из них являются причиной несовместимости. Следовательно, нет возможности определить номера услуг (видеосессий), которые передаются по этим каналам и должны быть вычеркнуты.

Алгоритм решения указанной задачи представлен на рис. 2.

Алгоритм предусматривает следующие действия:

1. С шагом Δ увеличивать ограничения по c_j и v'_{ij} до тех пор, пока система ограничений не станет совместимой, найти оптимальное распределение трафика x_{ij} , $i = 1...N_c$; $j = 1...N_k$.

2. Определить номера перегруженных каналов связи j таких, что суммарная интенсивность передаваемого по каналу связи видеотрафика больше скорости передачи канала связи ($x_{ij} > c_{j(m)}$, где $i = 1...N_c$; $j = 1...N_k$). Если таковых нет, т.е. система ограничений несовместима только из-за неравенства по $v'_{ij(m)}$, то перейти к пункту 5.

3. В перегруженных каналах уменьшить объем и количество кадров (2) для ограничения видеотрафика.

4. Определить номера телекоммуникационных услуг i , пакеты которых передаются по перегруженным каналам.

5. Зная условие, что суммарная интенсивность передаваемого по каналам связи видеотрафика не может быть больше пропускной способности транспортного соединения (т.е. $x_{ij} = r_{ij}$, где $i = 1...N_c$; $j = 1...N_k$), вычеркивать лишние услуги, каждый раз решая задачу линейного программирования при новых ограничениях. Делать это до тех пор, пока для оставшихся услуг будет выполняться равенство $x_{ij} = c_{j(m)}$. Каждый раз, вычеркивая i -ю услугу, из системы ограничений (7) будет вычеркиваться неравенства по $v'_{ij(m)}$.

Вычеркивать лишние услуги необходимо с учетом их значимости, которая равна $a_i b_i$. Чем меньше $a_i b_i$, тем менее значима i -я услуга, и ее следует удалять раньше других.

6. Решить задачу линейного программирования (ЗЛП) с уменьшенным набором услуг и начальной системой ограничений. Если система ограничений вновь не будет совместимой, то причиной этого являются ограничения

по $v'_{ij(m)}$. В этом случае необходимо с шагом Δ увеличивать ограничения по $v'_{ij(m)}$ до тех пор, пока при решении ЗЛП получится новое оптимальное распределение трафика x_{ij} . Зафиксировать новые значения $v'_{ij(m)}$, определить номера лишних услуг i таких, что $v'_{ij} > v'_{ij(m)}$.

7. Вычеркивать лишние услуги в соответствии с их значимостью до тех пор, пока не выполнится пункт 6, т.е. пока не будет получено решение ЗЛП с уменьшенным набором услуг и начальной системой ограничений. Каждый раз, вычеркивая i -ю услугу, из системы ограничений (7) будет уменьшаться $v'_{ij(m)}$.

Процедура изменения объема, передаваемого видеотрафика содержит два контура адаптации: большой и малый (см. рис. 2). В рамках этих контуров количество и качество предоставляемых телекоммуникационных услуг адаптируется под возможности транспортной сети.

В рамках малого контура адаптации путем уменьшения количества обслуживаемых сессий следует добиться того, чтобы при заданной системе ограничений ЗЛП имела хотя бы одно решение. Потребность в малом контуре адаптации возникает только тогда, когда ресурсы транспортной сети недостаточны для удовлетворения требуемого перечня телекоммуникационных услуг [7, 8].

Большой контур адаптации начинает работать только после того, как отработает малый. В рамках большого контура адаптации, получая контрольные данные c_j и $t_{зад i}^*$ от транспортной сети, меняется система ограничений ЗЛП [9, 10].

Таким образом, предложенный алгоритм изменения объема видеотрафика при передаче по каналам транспортной сети, позволяет в рамках малого контура адаптации согласовать интенсивность входящего видеотрафика со скоростью передачи каналов путем отбрасывания малозначимых услуг, а в большом контуре адаптации учесть изменение состояния транспортной сети путем изменения качества передаваемого видеоизображения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тестирование «военного интернета» // TADVISER. Государство. Бизнес. Технологии. Проекты ВКС (видеоконференцсвязь) [сайт]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Министерство_обороны_РФ_\(Минобороны\)_Проекты_ВКС_\(видеоконференцсвязь\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Министерство_обороны_РФ_(Минобороны)_Проекты_ВКС_(видеоконференцсвязь)) (дата обращения: 01.00.2019).
2. *Вебина III*. Качество обслуживания в сетях IP. – М.: ИД «Вильямс», 2003. – 386 с.
3. *Олифер В. Г., Олифер Н. А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, прото-

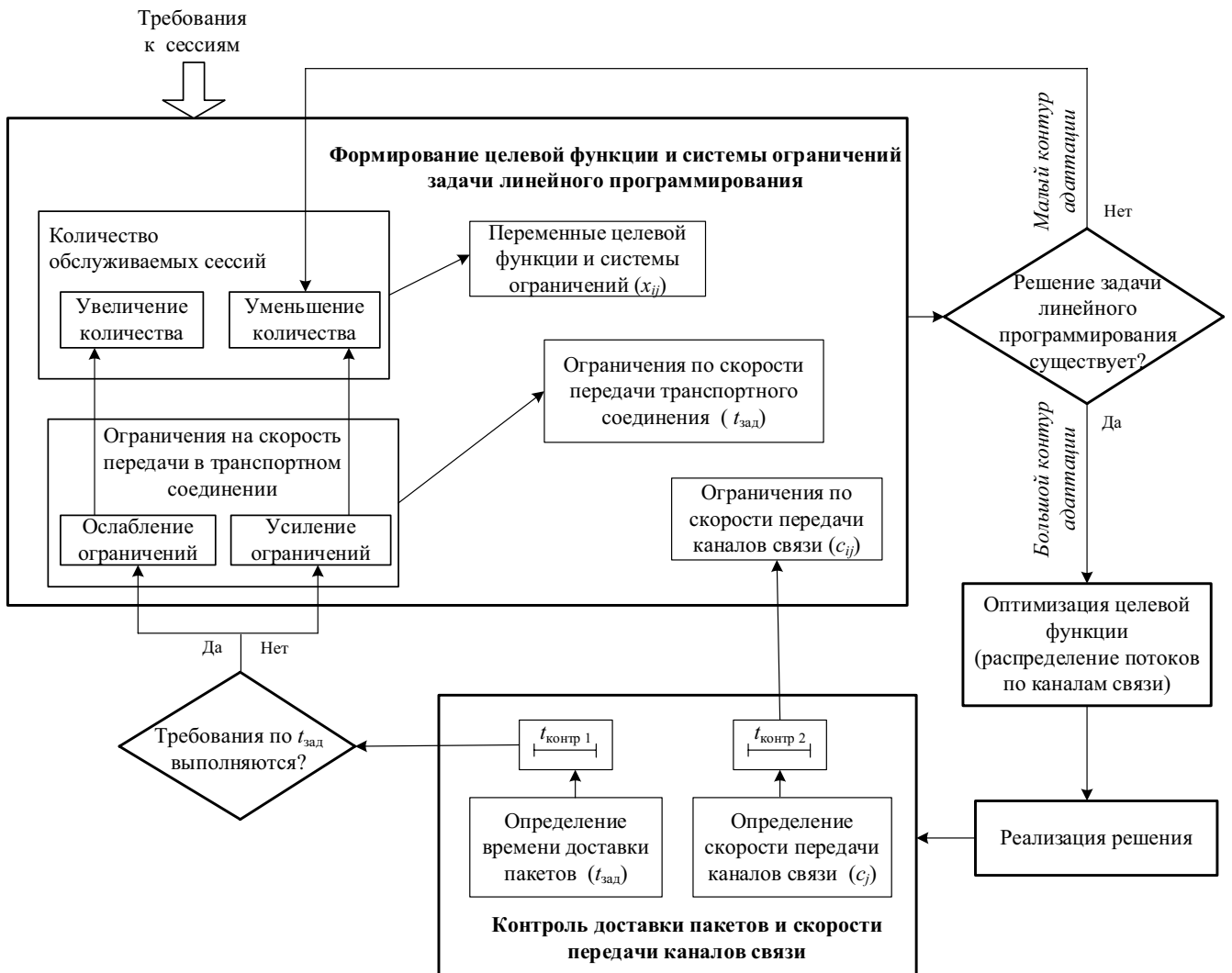


Рис. 2. Алгоритм изменения видеотрафика при передаче по каналам транспортной сети с переменной скоростью

колы : учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2017. – 992 с.

4. Wischik, D., McKeown, N. Buffer Size for Core Routers // Computer Communication Review. – 2005. – Vol. 3. – № 35. – P. 75–78.
5. Виноградов, М. В. Современные методы и средства управления в сетях видеоконференцсвязи // Вестник связи. – 2007. – № 6. – С. 81–85.
6. Виноградов, В. С., Метлицкий В. В. Систе-

7. Кочегаров В. А. Проектирование систем распределения информации. Марковские и немарковские модели – М.: Радио и связь, 1991. – 214 с.
8. Болубаш О. О. Алгоритм сбора, обработки и передачи информации о состоянии сети передачи данных. – Информацион-

- ные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Мат-лы XI международ. НПК. – М.: НТУ «ХПИ», 2003. – С. 45.
9. Лившиц Б. С., Пшеничников А. П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика. – М.: Связь, 1979. – 224 с.
10. Шелухина О. И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях: Монография. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с. ■

В современном мире невозможно представить существование человечества без использования электро- и радиоаппаратуры. Повышение качества и надежности изделий приборостроения – важнейшая задача разработчиков, технологов, ученых.

Изготовление аппаратуры – сложный процесс, сочетающий в себе сотни технологических процессов и тысячи технологических операций, ответственное выполнение каждой – залог нормального функционирования и долговременного качества изделия. И, наоборот, сбой выполнения всего одной операции может привести к необратимым последствиям, в том числе и к человеческим жертвам, если аппаратура используется, например, в медицине. С целью снижения влияния неопределенности при изготовлении сложных изделий радиоаппаратуры проведено исследование возможных критериев оценки технологических процессов. Одним из способов можно считать выявление специальных и особо ответственных технологических процессов.

Особо ответственный технологический процесс (операция): нарушение его соответствия заданным требованиям может привести либо к выходу из строя продукции, либо к потере или снижению ее функциональных свойств [1].

Специальный процесс: подтверждение результатов данного процесса невозможно, затруднено или экономически нецелесообразно, а обнаруженные недостатки становятся очевидными только после начала использования продукции (выполнения работ, оказания услуг) по назначению [1].

Объектом исследования выбран типовой узел радиоэлектронной аппаратуры в виде печатной платы, расположенной в корпусе. Во внимание не принимается изготовление комплектующих изделий (полупроводниковых дискретных приборов и интегральных микросхем), печатной платы, стандартного крепежа. Комплектующие вносят колоссальный вклад в качество, но для простоты исследования рассматривается сборка печатной платы в условиях специализированного сборочно-монтажного производства.

При этом необходимо, чтобы покупные комплектующие были качественными и надежными и не оказывали влияния на показатели качества изделия в целом.

МЕТОДЫ

В работе рассматривается несколько технологических процессов, тре-

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ

*В.А. Казначеев, ст. офицер отдела связи,
М.В. Плюшин, начальник отдела АО «НТИ «Радиосвязь»,
контакт. тел. +7 (905) 226 9022*

бующих оформления в качестве специальных.

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МОНТАЖА СЛАБОТОЧНЫХ РАЗЪЕМОВ

Через слаботочные разъемы печатной платы осуществляется коммутация множества различных цепей – в основном контроля и управления, потеря контакта в которых зачастую может вывести из строя устройство полностью, повредив дорогостоящие комплектующие и узлы.

Технологический процесс состоит из двух операций: зачистка провода от изоляции, обжатие специальным инструментом (опрессовка наконечников на провод). Возможны ошибки, приводящие к скрытым дефектам. Например, изоляция может быть зачищена на недостаточную длину, и лепесток будет частично зажимать изоляцию вместе с жилами провода, что может привести к непостоянству контакта и полному его исчезновению со временем. Второй ошибкой может быть слишком большой участок, открытый от изоляции, что может привести к снижению механической прочности пары лепесток–провод, жилы провода под действием вибраций существенно быстрее сломаются и контакт прекратится.

На рис. 1 представлен образец правильно выполненного соединения лепестка и многожильного провода.

Контроль качества возможен тремя методами: электрическим (контроль сопротивления), механическим, визуальным. Ни один не дает гарантированного результата [2]. Исследованный технологический процесс следует включить в перечень специальных –

контроль качества выполненных соединений затруднен или невозможен, а если и возможен, то экономически нецелесообразен. Количество соединений в одном изделии может превышать несколько сотен штук. При переходе к массовому выпуску однотипных изделий подготовку жгутов с обжатыми наконечниками целесообразно проводить на автоматических линиях, что позволит существенно сократить влияние человеческого фактора. В условиях опытного или мелкосерийного производства автоматизировать этот технологический процесс не представляется возможным, и ручной труд остается основным способом монтажа.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ТЕРМОПАСТЫ

Термопаста играет важную роль в обеспечении температурного режима определенных комплектующих, а следовательно, и надежности изделия, так как с ростом температуры любых комплектующих «время между сбоями» [3] (Mean Time Between Failure, MTBF – «наработка на отказ») падает экспоненциально.

На рис. 2 приведен типовой график снижения среднего времени до отказа в зависимости от температуры кристалла мощного полевого транзистора. Легко видеть, что повышение температуры на 10 °С приводит к снижению наработки на отказ на миллион часов. То есть при качественном выполнении теплового контакта можно получить среднее время до отказа 3 млн. часов, а при небольшом нарушении техпроцесса – 2 млн. Для простоты понимания этих величин удобнее пользоваться параметром



Рис. 1. Лепесток на многожильном проводе для разъема СНПЗ89

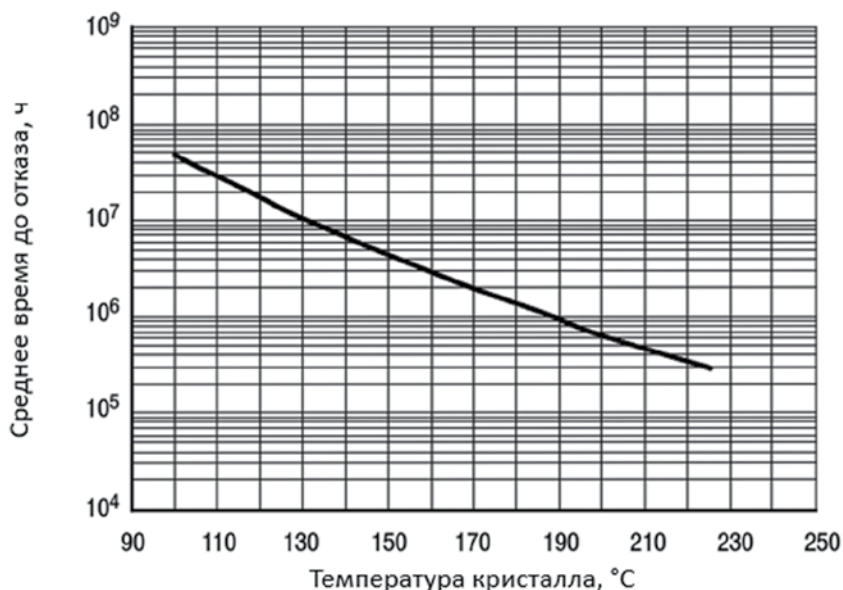


Рис. 2. График зависимости среднего времени до отказа от температуры кристалла

ЕВС (ежегодная вероятность сбоев) или AFR (Annual Failure Rate). Для 2 млн. часов она составит $8760/2 \times 10^6 = 0,0044$, для 3 млн. часов – $8760/3 \times 10^6 = 0,0029$. Вероятность отказа в течение года транзистора с температурой 150 °C в 1,5 раза ниже, чем для транзистора с температурой 160 °C. При этом получить разницу в 10 °C на кристалле очень просто. Достаточно:

- нарушить необходимый слой наносимой термопасты,
- допустить вкрапления пыли,
- не выдержать момент затяжки крепежа и т. д.

Значительная зависимость надежности комплектующих от температуры объясняется уравнением Аррениуса [4], которое определяет скорость протекания химических реакций. С ростом температуры ускоряются процессы окисления, диффузии примесей в полупроводнике, что в итоге приводит к деградации заданных свойств и выходу из строя сильно легированного кристалла.

Контроль результата процесса нанесения термопасты достаточно затруднен, так как требует измерения температуры транзистора под нагрузкой в полностью собранном функционирующем устройстве, следовательно, описанный процесс необходимо рассматривать как специальный, требующий особого внимания.

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

Влагозащитное покрытие печатных плат (ПП) является одним из основных способов повышения стойкости радио-

аппаратуры к климатическим воздействиям. Технологический процесс нанесения лака УР-231 [5] на смонтированную печатную плату включает:

- очистку и отмывку ПП,
- изоляцию некоторых участков и разъемов на ПП,
- приготовление двухкомпонентного лака,
- нанесение трех слоев лака с межслойной сушкой,
- выполнение контроля качества и толщины покрытия.

Контроль выполнения процедур описанного технологического процесса проводит контролер в основном визуально, и он может упустить существенные детали, например:

- состав лака УР-231 может быть нарушен при приготовлении смеси из двух компонент,
- ПП может быть недостаточно отмыта от флюса перед нанесением лака,
- толщина нанесенного покрытия может быть не соблюдена,
- изоляция участков и разъемов может быть выполнена с нарушениями, разъемы могут быть случайно покрыты лаком, с полной или частичной потерей функционала.

Все эти недостатки технологического процесса могут быть выявлены лишь при последующей эксплуатации и при проведении климатических испытаний. Неправильный состав лака проявиться отслоениями или трещинами, флюс под лаком может вызвать коррозию печатных проводников или паяных соединений и т. д. Частичная автоматизация процесса контроля итогового покрытия возможна при

переходе к покрытиям других типов, содержащих компонент, светящийся в ультрафиолетовом излучении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате настоящего исследования установлено, что каждый технологический процесс оценивается по своим индивидуальным критериям, на основании которых процесс или процедуру изготовления разработчик должен относить к специальным или особо ответственным, чтобы снизить неопределенность при изготовлении изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 59861–2021. Аттестация специальных, особо ответственных технологических процессов изготовления изделий: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2022–03–01/ФГУП «НПО «Техномаш». – Изд. офиц. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 32 с.
2. Геча В.Я., Лаврухин О.Н., Мещихин И.А. Исследование методов контроля качества обжимных соединений при производстве аппаратуры комплекса электрооборудования системы управления и защиты атомных электростанций//Вопросы электромеханики. Тр. ВНИИЭМ. – 2013. – Т. 135. – № 4. – С. 31–38. – EDN RUWMNE.
3. ГОСТ Р 27.102–2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2021–10–08/ЗАО «НИЦ КД». – Изд. офиц. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 35 с.
4. Штиллер В. Уравнение Аррениуса и неравновесная кинетика: Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 176 с.
5. Кирдяев М.М., Кочегаров И.И., Трусов В.А. Влагозащитные покрытия печатных плат//Тр. международ. симпозиума «Надежность и качество». – 2015. – Т. 2. – С. 329–336. – EDN UDELLF. ■

Корпуса и конструкции судов и платформ, трубопроводы и оборудование судовых систем, контактирующее с забортной водой, подвержены обрастанию моллюсками, ракообразными рода *Balanus* и водорослями. Работы по очистке судовых систем забортной воды (ССЗВ) от биологических отложений длительны и трудоемки. Очистка кингстонных ящиков (КЯ) крупных плавучих платформ и доков не может быть выполнена в доке, такие работы проводятся на плаву с привлечением водолазов или дистанционно управляемых подводных аппаратов. Поиск способов снижения биоагрязнения ССЗВ ведется давно. Наиболее эффективным на сегодняшний день является метод обогащения прокачиваемой забортной воды биоцидами, например ионами меди.

В состав простейшей установки защиты от обрастания входят бак-электролизер с анодами и блок питания. Вода через электролизер прокачивается насосом защищаемой системы, управление выпрямителем осуществляется беспотенциальными контактами пускателя насоса. Блок предварительно настраивается на два значения выходного тока: для режимов прокачки воды и без прокачки. Электрический ток, протекая через аноды, растворяет их и обогащает прокачиваемую забортную воду ионами металлов. Увеличение количества судовых насосов забортной воды, питание насосов от КЯ разных бортов, разделение трубопроводов запорной арматурой на участки требует динамического изменения концентрации ионов металлов в прокачиваемой воде.

В 2020 г. АО «МНС» разработало систему защиты от обрастания с возможностью защиты как самих КЯ, так и трубопроводов ССЗВ, питающихся от них.*

Структурная схема системы показана на рис. 1. Ее основные элементы системы – насосный узел (НУ), узел электролиза (УЭ) и узел распределения (УР). НУ прокачивает забортную воду через УЭ, УР в соответствии с составом действующих судовых насосов формирует ток анодов заданной величины и посредством открытия клапанов управляет распределением обогащенной ионами металлов воды в защищаемые КЯ. Обогащенная вода смешивается с забортной и забирается судовыми насосами в трубопроводы.

Одним из ключевых функциональных элементов такой системы является блок питания анодов (БПА), кото-

*См. Ю.А. Степанов. Система защиты от обрастания трубопроводов забортной воды судна // Морской вестник, 2021, № 3(79).

БЛОК ПИТАНИЯ АНОДОВ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ОБРАСТАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ЗАБОРТНЫХ СИСТЕМ СУДА

А. К. Аристова, вед. программист отдела, магистр,
Ю. А. Степанов, канд. техн. наук, начальник отдела,
К. А. Смирнов, канд. техн. наук, ген. директор, заслуженный конструктор РФ,
АО «МНС»,
контакт. тел. (812) 3320 3840

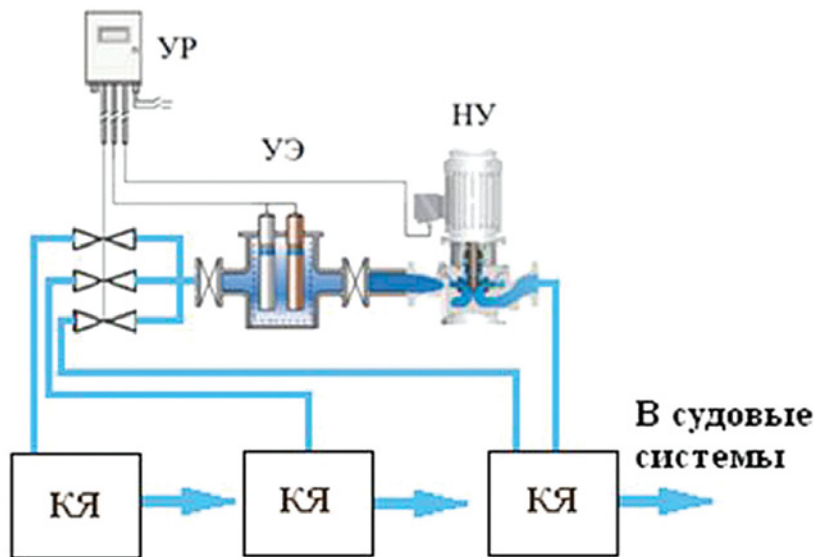


Рис. 1. Структурная схема системы защиты от обрастания

рый должен обладать рядом особенностей.

Во-первых, выход БПА должен управляться как от контактов пускателя насоса судовой системы, так и по цифровому интерфейсу. Это позволяет в минимальном варианте «насос – БПА – анод» создать узел защиты отдельной ССЗВ. В максимальном варианте возможно построение распределенной сети узлов защиты, управляемой по сигналам от судовой системы управления техническими средствами.

Во-вторых, обогащение прокачиваемой воды одновременно ионами меди и ионами алюминия или железа позволяет уменьшить коррозию трубопроводов и теплообменных аппаратов ССЗВ. С этой целью совместно с медным анодом в электролизер устанавливается второй «антикоррозийный» анод, что требует наличия в составе БПА двух независимых выходов с возможностью объединения нулевого потенциала выходов на катоде.

В-третьих, БПА должен содержать энергонезависимый модуль памяти. Выходной ток блока питания – величина дискретная (расход воды или есть, или его нет). Тогда появляется

возможность программирования блока с формированием заранее рассчитанных величин токов выходов. Насос забортной воды может находиться в двух состояниях: рабочем и нерабочем. Следовательно, количество запрограммированных режимов работы БПА определяется как 2^n , где n – количество насосов, сигнал о работе которых получает блок. Поскольку БПА имеет два выходных канала, то в памяти должно храниться 2×2^n значений токов. Для настройки или корректировки сохраненных в энергонезависимой памяти значений токов выхода должна быть предусмотрена возможность местного (например, при помощи органов управления индикацией) программирования блока.

В-четвертых, БПА должен автоматически выполнять функцию самодиагностики. Поскольку элементы систем защиты от обрастания ССЗВ расположены чаще всего в придонных помещениях судов, визуальный контроль их технического состояния проводится с большой периодичностью. Поэтому целесообразно реализовать автоматическую диагностику исправности работы каналов БПА, отсутствие короткого замыкания, за-

мыкания на корпус и обрыва цепей каждого выхода. Аварийно-предупредительные сигналы должны передаваться в систему управления верхнего уровня по цифровому интерфейсу, обобщенный сигнал аварии должен дублироваться релейным выходом. Поскольку работа системы защиты от обрастания не требует постоянного контроля со стороны обслуживающего персонала, особенно важным является наличие аварийно-предупредительного сигнала об отсутствии питания на БПА.

На рис. 2 показана структурная схема блока, реализующая рассмотренные выше особенности.

При реализации блока максимально возможно применена отечественная электроника. Плата управления построена на базе контроллера STM. Силовые МОП-транзисторы белорусского производства, остальные основные устройства, включая дисплей, отечественной сборки.

Технические характеристики БПА приведены ниже, внешний вид показан на рис. 3.

Конструктивно БПА выполнен в металлическом корпусе из алюминиевого сплава, навесное крепление. Электроника БПА внутри корпуса объединена в три платы: трансформатора, управления, индикации и управления. Подключение внешних интерфейсов выполняется разъемами в нижней части. В качестве органов индикации используются светодиоды и ЖКИ, на котором отображаются величины токов и напряжений каждого канала выхода (рис. 4). Под дисплеем расположена группа кнопок для программирования блока. В режиме программирования оператор может изменить предустановленные значения токов с помощью кнопок управления: «+», «-», «ВВОД».

Технические характеристики БПА

Характеристика	Значение
Напряжение питания на входе	Однофазное 220 В, 50 Гц
Количество выходов	2
Напряжение выходов, В	Постоянное 5–34
Величина тока выхода, А	0–3
Точность поддержания тока выхода, А	±0,05
Аварийно-предупредительная сигнализация по цифровому интерфейсу	Неисправности канала: – короткое замыкание на выходе – замыкание выхода на корпус – обрыв нагрузки на выходе – отсутствие питания
Защита	От короткого замыкания на выходе
Кол-во управляющих беспотенциальных входов (от пускателей насосов)	6
Степень защиты по ГОСТ 14254–2015	IP20
Внешний интерфейс связи	RS-485, протокол Modbus RTU

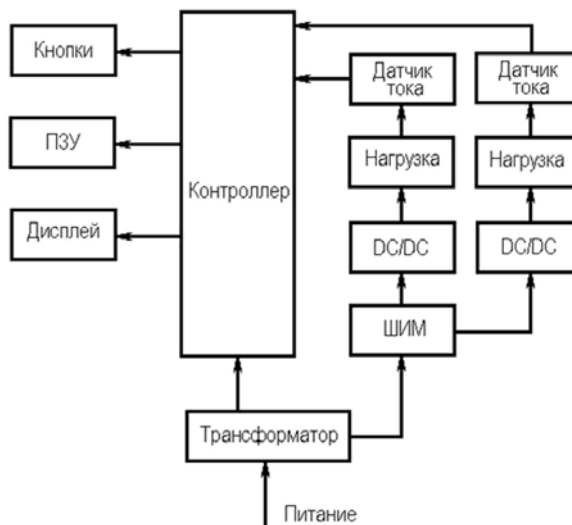


Рис. 2. Структурная схема БПА



Рис. 3. Внешний вид БПА

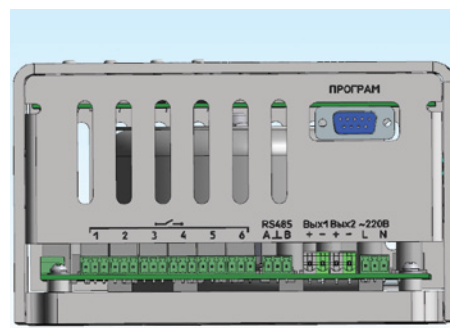


Рис. 4. Органы управления и индикации БПА

Выпускаемый АО «МНС» БПА соответствует обозначенным выше критериям и обладает рядом неоспоримых преимуществ:

1. Высокая точность поддержания выходного тока по двум независимым каналам с возможностью объединения их по нулевому потенциалу.
2. Модульная конструкция при незначительных габаритах позволяет использовать БПА как автономно, так и в составе крупных узлов системы защиты от биообрастания ССЗВ с централизованным управлением.
3. Наличие энергонезависимого ПЗУ и возможность программирования блока с использованием собственных органов управления позволяет вносить изменения в настройки токов непосредственно на судне в процессе сервисного обслуживания.
4. Наличие функции самодиагностики и достаточность аварийно-предупредительной сигнализации позволяет обслуживающему персоналу дистанционно контролировать состояние БПА. ■

Характерным отличием широкого класса сложных динамических объектов (самолет, беспилотный летательный аппарат и т.д.) является необходимость выработки решений и выполнения процедур управления в условиях жесткого реального времени, когда промедление с реализацией может привести к необратимому развитию событий и неприемлемым последствиям. Дефицит времени в таких системах – один из основных факторов, обуславливающих неполноту используемых знаний и данных [1].

В [2] подробно описана методология формирования темпоральных баз знаний на основе онтологического инжиниринга, в данной же статье рассматривается метод формирования обобщенных описаний для темпоральных баз знаний с использованием инструмента растущих пирамидальных сетей.

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕМПОРАЛЬНЫХ БАЗ ЗНАНИЙ

Особенность систем жесткого реального времени состоит в том, что время в таких системах – основной фактор, обуславливающий неполноту используемых знаний и данных. В этих условиях оказывается неприемлемым одно из фундаментальных свойств, принятых в существующих темпоральных немонотонных логических системах, состоящее в том, что время, необходимое для проведения рассуждений, не учитывается [3]. Другим свойством большинства существующих темпоральных логик, которое также противоречит специфике обработки знаний в системах жесткого реального времени, является неразличимость моментов времени, когда некоторое событие произошло и когда информация об этом стала доступна системе. Таким образом, можно констатировать, что модели обработки знаний в существующих системах «мягкого» реального времени, не подходят для использования в жестком реальном времени [4].

Предлагаемый в статье метод формирования базы знаний темпоральных моделей для таких слабоформализованных объектов, как самолет или корабль, основан на анализе имеющейся статистики по исследуемому процессу с использованием специального класса растущих пирамидальных сетей.

Растущая пирамидальная сеть (РПС) – это динамический объект, используемый для формирования обобщенных описаний классов объектов, явлений и понятий, заданных совокупностями значений признаков, имеющих самую различную природу в зависимости от контекста решаемой задачи (подробнее РПС описаны в [5]). РПС задает-

ся при помощи ациклического ориентированного графа, содержащего вершины двух типов: рецепторы – вершины, являющиеся входами РПС и содержащие только исходящие дуги, и концепторы – все остальные вершины, образующие ассоциативные элементы РПС. Рецепторы соответствуют значениям признаков, подаваемых на вход сети описаний, а концепторы – обобщенным описаниям классов объектов, сформированных из отдельных групп этих признаков либо их характерных сочетаний.

Структура РПС формируется в процессе ее функционирования путем подачи на вход сети примеров описаний, обобщенные образцы которых реконструирует РПС. В процессе реализации формируются всевозможные пересечения признаков и их характерные комбинации, которым в РПС сопоставляются концепторы. Последние образуют в РПС иерархические пирамидальные подструктуры (пирамиды), из которых с использованием алгоритмов обучения формируются описания обобщенных классов.

Метод формирования базы знаний темпоральных моделей сводится к созданию в РПС для каждого из классов описаний пирамид, представляющих логическую структуру этих описаний. Критерием обучения РПС является формирование наиболее компактных описаний, верно классифицирующих все примеры обучающей выборки. Логические выражения для обобщенных описаний, полученные в результате работы, представляются в классе дизъюнктивных нормальных форм, конъюнктами которых являются сочетания признаков, входящих в основания пирамид контрольных рецепторов.

Рассмотрим задачу формирования РПС. Проблема заключается в том, что при формировании обобщенных классов в РПС с целью получения наиболее компактных описаний используется информация не только о характерных сочетаниях признаков, присущих данному объекту, но и о тех сочетаниях, которых в объекте нет. Необходимость учитывать

в процессе формирования обобщенных описаний исключающих признаков приводит к необходимости введения в критерий обучения дополнительных условий, что усложняет постановку задачи, исключая возможность сведения ее к одной из тех типовых задач, для решения которых существуют практически эффективные методы.

Существуют важные классы задач, связанные с формированием обобщенных описаний, определяющие признаки которых находятся в некоторой зависимости друг с другом, например, описания, представленные через структуры отношений. Для таких описаний, учитывая особенности взаимодействия определяющих их признаков, иногда удается получить более обоснованные и эффективные алгоритмы обучения. К такому классу объектов, в частности, относятся динамические объекты, признаковыми описаниями которых являются временные отношения.

Ниже рассматривается вариант РПС, предназначенной для формирования классов обобщенных описаний, задаваемых совокупностями качественных темпоральных отношений временной логики Аллена. Речь пойдет об описаниях, представляемых с использованием качественных темпоральных отношений между точечными событиями.

Пусть $Q = \{x, y, \dots, z\}$ – конечное множество зависящих от времени событий, характеризующих динамику процесса или явления. С каждым из событий $q \in Q$ связан некоторый конкретный временной отсчет t_i на дискретной временной шкале T , называемый временем свершения события. Исследуемый временной процесс (ИВП) – логико-временная диаграмма работы системы управления движущимся объектом, который представляет собой некоторую упорядоченную во времени последовательность событий $S = (x(t_1), y(t_2), \dots, z(t_n))$, характеризующих состояния ИВП в дискретные моменты времени t_i .

На множество событий Q определим систему качественных темпоральных отношений $RT = \{\varphi, I\varphi, e\}$ через ограничения

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ОПИСАНИЙ ДЛЯ ТЕМПОРАЛЬНЫХ БАЗ ЗНАНИЙ В КОНТУРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

*К.В. Лапушин, ст. преподаватель базовой кафедры
АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. + 7 (921) 865 2685*

между моментами времени свершения событий следующим образом:

$$\begin{aligned} \forall x(t_i) \in S, \forall y(t_i) \in S; \\ x(t_i)fy(t_i) \Leftrightarrow t_i < t_j; \\ x(t_i)Ify(t_j) \Leftrightarrow t_i > t_j; \\ x(t_i)ey(t_j) \Leftrightarrow t_i = t_j. \end{aligned} \quad (1)$$

Любая конкретная реализация ИВП S в классе темпоральных моделей представляется логическим выражением вида $F(S) = \&(q_p, w_k, q_j)$, где $q_p, q_j \in Q$, $w_k \in RT$. Обозначим через Π множество, элементами которого являются всевозможные пары событий из Q , связанные всевозможными типами отношений из RT . Тогда в качестве признаков описаний реализаций ИВП будут выступать подмножества из Π .

Задача формирования обобщенных описаний для темпоральных баз знаний формулируется как задача индуктивного формирования понятий на основе обучающей выборки, представленной множеством примеров реализаций ИВП, для каждого из которых указан тип класса понятий, к которому он принадлежит.

Для формирования классов обобщенных описаний будем использовать темпоральную РПС. Рецепторами темпоральной РПС являются элементы множества Π , через которые в сеть вводятся описания примеров обучающей выборки, а концепторами – характерные сочетания темпоральных признаков, сформированные в результате работы алгоритма функционирования РПС.

Алгоритм функционирования темпоральной РПС отличается от стандартной процедуры наличием в нем процедуры пополнения описаний, основанной на правилах логического вывода, задаваемых формулами:

$$\begin{aligned} xfy, yfz \Rightarrow xfz; \quad xfy, yez \Rightarrow xfz; \\ xey, yfz \Rightarrow xfz \Leftrightarrow yIfx. \end{aligned} \quad (2)$$

При формировании темпоральной РПС процедура пополнения описаний имеет принципиальное значение, поскольку позволяет выявлять признаки, явно отсутствующие в исходных описаниях, однако играющие важную роль при разработке модифицированного алгоритма обучения.

В основе алгоритма функционирования темпоральной РПС лежат стандартные правила формирования РПС. Перед каждым вводом в сеть нового примера к имеющимся в описании примера признакам применяются правила вывода. Пополненное логическими средствами описание объекта подается на вход сети, и на основе двух стандартных правил в РПС формируются концепторы, образованные всевозможными пересечениями признаков описаний и их характерными комбинациями.

Признаковыми описаниями объектов, с которыми оперирует темпоральная РПС, являются темпоральные отношения. Поскольку известные классы темпоральных отношений, включая рассматриваемый класс RT , представляют собой полные семейства взаимоисключающих отношений, появляется возможность выразить отрицание любого темпорального отношения через дизъюнкцию дополняющих его прямых отношений, входящих в данное семейство. Например, для семейства RT отрицание факта временного следования между событиями x и y означает наличие факта предшествования события y событию x либо наличие факта совпадения x и y во времени, что выражается формулой $(xfy) \Leftrightarrow (xey) \vee (xIfy)$.

Полная система правил, задающих связь между прямыми и инверсными признаками для семейства темпоральных отношений RT , имеет вид

$$\begin{aligned} \neg(xfy) \Leftrightarrow (xey) \vee (xIfy); \\ \neg(xIfy) \Leftrightarrow (xey) \vee (xfy); \\ \neg(xey) \Leftrightarrow (xfy) \vee (xIfy). \end{aligned} \quad (3)$$

Следует отметить, что правила (3) применимы в тех случаях, когда в исходных описаниях, задаваемых темпоральными отношениями, содержится полная информация об отношениях между парами событий, входящими в описания. Поэтому при формировании ассоциативных элементов темпоральной РПС и применяется упомянутая процедура пополнения описаний.

Для темпоральных отношений имеют место также правила преобразования дизъюнктивных форм описаний в более компактные описания путем применения правил «склеивания» и «поглощения», аналогичные правилам минимизации буквенных функций. Для семейства RT такая система правил включает следующие правила:

$$\begin{aligned} (xfy) \vee (xey) \& F \Rightarrow (xIfy); \\ (xfy) \vee (xIfy) \& F \Rightarrow (xey); \\ (xey) \vee (xIfy) \& F \Rightarrow (xfy), \end{aligned} \quad (4)$$

где F – произвольная конъюнктивная форма.

Правила (3) и (4) играют важную роль в разработке метода, а именно, правила (3) обеспечивают принципиальную возможность формирования классов описаний без использования исключающих признаков, а правила (4) дают возможность минимизировать полученные дизъюнктивные формы описаний за счет включения в них исключающих признаков. Эти возможности позволяют сформулировать критерий обучения темпоральной РПС в виде, удобном для его поэтапной реализации в методе формирования базы знаний темпоральных моделей.

Критерием оптимальности обучения темпоральной РПС является формиро-

вания для каждого из класса примеров обучающей выборки такого описания, которое, во-первых, не содержит исключающих признаков, а, во-вторых, после применения к нему правил редуцирования (4) приводит к наименьшему числу конъюнктов в описании формируемого класса из всех возможных описаний.

В приведенном критерии принципиально важным является возможность его поэтапной реализации, а именно, формирование обобщенных классов исключительно на основе прямых признаков и последующем приведении полученных выражений к более компактной форме, содержащей исключающие признаки.

Для практической реализации этих возможностей этапы обучения удобно реализовывать в обратном порядке. На первом этапе в темпоральной РПС формируется дополнительное множество концепторов, образованное такими всевозможными сочетаниями признаков, полученных в результате работы основного алгоритма формирования РПС, которые входят в описание исключительно примеров формируемого класса понятий. Далее к сформированному множеству контрольных концепторов применяются правила минимизации (4). На заключительном этапе в редуцированном множестве контрольных концепторов выбирается наименьшее подмножество, входящее во все примеры формируемого класса описаний. Данная задача относится к известному классу задач о покрытиях, для которых в настоящее время разработаны весьма эффективные методы решения, пример можно посмотреть в [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамические объекты типа ракета-самолет или корабль относятся к классу слабо формализованных объектов, признаковыми свойствами которых являются жесткие временные ограничения.

При описании слабо формализованного динамического объекта значимой для принятия решений является качественная информация о структурно-временных свойствах объекта. Перспективным инструментом исследования таких процессов представляется специальный класс темпоральных моделей, основанных на знаниях и способных оперировать информацией, имеющей динамическую и нечеткую динамическую природу.

Предложенный метод формирования обобщенных описаний динамических объектов может быть использован при решении широкого круга задач автоматического формирования темпоральной базы знаний системы жесткого реального времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статические и динамические экспертные системы: учебное пособие / Э.В. Попов и др. – М.: Финансы и статистика, 1996.
2. Коржавин Г.А., Лапшин К.В., Ямщиков Ю.А. Генерация баз знаний на основе онтологического инжиниринга в контуре управления динамических объектов // Тр. РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова. – Т.1. – Ч. 2. –

СПб.: ЦТСС, 2016. – С. 20–24.

3. Виньков М.М., Фоминых И.Б. Формализация рассуждений с умолчаниями в интеллектуальных системах реального времени // Тр. VII-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ–2000. – Т.1. – М.: Физматлит, 2000.
4. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2000. –

384 с. ISBN: 5-272-0007-4.

5. Гладун В.П. Растущие пирамидальные сети // Новости искусственного интеллекта. – 2004. – №1.
6. Еремеев А.В., Заозерская Л.А., Колоколов А.А. Задача о покрытии множества: сложность, алгоритмы, экспериментальные исследования // Дискретный анализ и исследование операций. – Сер. 2. – 2000. – Т. 7. – № 2. – С. 22–46. ■

ВВЕДЕНИЕ

Улучшению управляемости судов и автономных морских аппаратов на настоящем этапе развития морской инженерии уделяется значительное внимание [1–3]. В современных условиях необходимость совокупного удовлетворения требований безопасности и экономической эффективности эксплуатации [4–7] существенно повышает значимость развития методов и средств автоматизированного управления [8–10], а неослабевающие темпы ужесточения вышеуказанных требований влекут за собой необходимость опережающего совершенствования устройств управления и применяемых в них методов. В связи с этим возрастает актуальность задач поиска принципиально новых подходов к алгоритмическому и программному обеспечению систем управления движением, а также применяемой в них элементной базе [11–15].

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Методы управления движением судна можно объединить в следующие основные категории: классические методы адаптивного управления; методы, использующие предиктивные модели; методы интеллектуального управления.

Многообразие методов и алгоритмов управления естественным образом вызывает дискуссию относительно их преимуществ и эффективности [16, 17]. Так, классические методы адаптивного управления [18, 19] характеризуются нетривиальными процедурами настройки, а прогностические модели [20, 21] – сложностью проектирования и ресурсоемкостью использования.

Растущее внимание исследователей с начала нынешнего века уделяется методам и средствам так называемого интеллектуального управления [22–29], предназначенным для принятия решений в условиях существенного дефицита информации, столь характерного для задач управления движением судна. В значительном многообразии

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МАЛОМЕРНОГО БЕСПИЛОТНОГО СУДНА

А.Е. Васильев, *д-р техн. наук, зав. кафедрой ТСМ,*
А.В. Вегнер, *ст. преподаватель,*
В.А. Карпенко, *ст. преподаватель,*
Йе Мин Хтет, *аспирант,*
Хтун Шайн, *аспирант,*
 СПбГМТУ,
 контакт. тел. (812) 713 8405

методов искусственного интеллекта, широко применяемыми в указанных задачах, являются нейросетевые, генетические, нечеткие методы, а также их комбинации [30], при этом следует отметить, что наибольшей математической обоснованностью с точки зрения синтеза и анализа обладают решения, основанные на методах теории нечетких множеств [31, 32]; кроме того, нечеткие высказывания являются естественным способом выражения

экспертом своих знаний, что снижает трудоемкость и повышает качество проектирования систем принятия решений [33].

Очевидным образом дополнительную специфику управления приобретает в зависимости от объекта: в маломерных беспилотных судах и автономных морских аппаратах (все шире применяемых при освоении Мирового океана, сборе гидрологических и других данных, в спасатель-



Рис. 1. Обобщенная структурная схема микроконтроллерной системы управления с нечетким вычислителем

ных и иных операциях) с их предельно жесткими массогабаритными и надежностными характеристиками, встраиваемая вычислительная система реализуется, как правило, на основе микроконтроллеров [34], что накладывает дополнительные ограничения на вычислительную производительность системы управления; кроме этого, энергетические параметры и условия эксплуатации зачастую не позволяют обеспечить качество связи, достаточное для реализации непрерывного дистанционного управления [35].

Таким образом, значимым направлением развития систем управления движением маломерных беспилотных судов и морских аппаратов является разработка и применение полностью автономных бортовых систем управления на основе встраиваемых микроконтроллеров с интеллектуальными модулями принятия решений, использующими методы теории нечетких множеств.

ВСТРАИВАЕМАЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА С НЕЧЕТКИМ РЕШАТЕЛЕМ

Обобщенная схема встраиваемой системы автономного управления движением технического объекта показана на рис. 1. С иерархически вышеразмещенной системы управления на встраиваемую систему поступает информация о координатах точки прибытия 1. После получения целеуказания встраиваемая система действует автономно.

С датчиков объекта 2 поступает информация о его состоянии (например, его текущей скорости движения, пространственной ориентации и т.п.) и состоянии окружающей объект среды (например, о наличии окружающих объект препятствий, их пространственном расположении и т.п.). Измеряемые сигналы при необходимости аппаратно 3 обрабатываются (например, усиливаются, фильтруются и т.п.), после чего посредством аппаратуры подсистем ввода (например, портов, аналого-цифровых преобразователей и т.п.) становятся доступны измеряющей программе 4 микроконтроллера. Информация о текущем состоянии далее используется двумя способами.

Во-первых, она позволяет уточнить тренды развития ситуации 5: это дает возможность пересчитать текущие координаты точки прибытия 6, изменяющиеся относительно исходных при маневрировании объекта, и на основе сформированной при проектировании системы принятия решений базы нечетких знаний 7 определить тактику 8

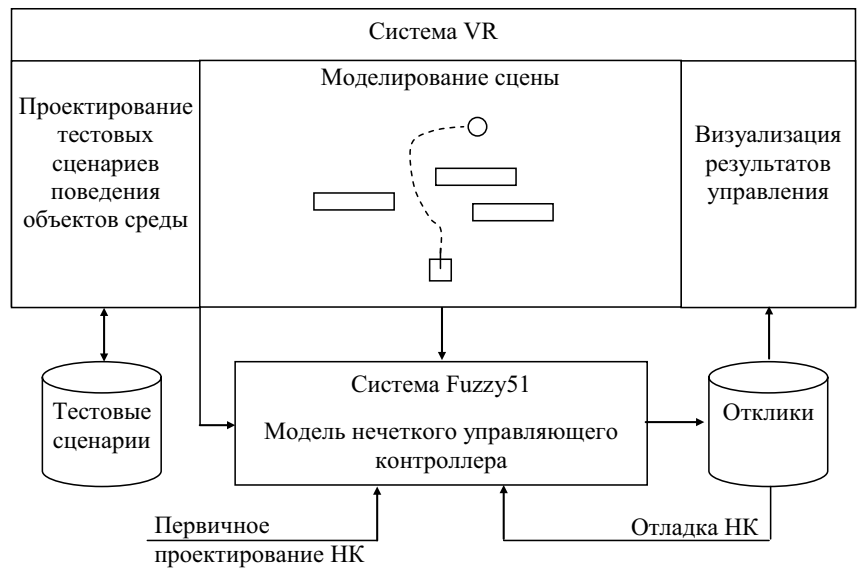


Рис. 2. Структура комплекса средств моделирования для задач ситуационного управления направлением движения надводного аппарата

достижения точки прибытия с учетом тенденций развития обстановки (например, характере движения препятствий, смещении объекта под воздействием внешней среды и т.п.).

Во-вторых, после принятия решения о тактике движения объекта информация о текущем состоянии поз-

воляет рассчитать текущие управляющие воздействия, формируемые регулятором 9, которые далее используются управляющей программой 10 для формирования посредством подсистем вывода (например, портов, цифроаналоговых преобразователей и т.п.) управляющих сигналов. Уп-

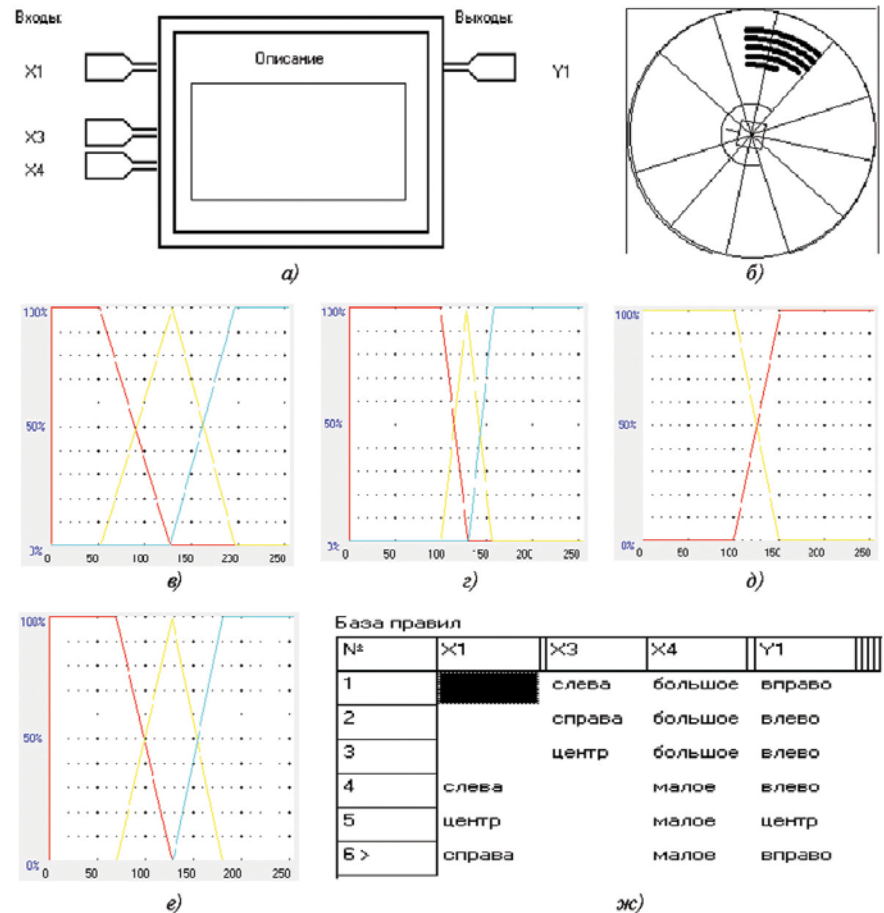


Рис. 3. Нечеткий контроллер для управления надводным аппаратом в среде с препятствиями: а – структура; б – пример состояния модели в среде VR; в – термы переменной X1 – «расположение точки прибытия»; г – термы переменной X3 – «расположение центра препятствия»; д – термы переменной X4 – «размеры препятствия»; е – термы переменной Y1 – «направление поворота»; ж – база правил

равляющие сигналы усиливаются по мощности 11, после чего поступают на исполнительные механизмы [12] объекта для выполнения текущего маневрирования.

Применение систем нечеткого управления движением судна известно, в частности, из публикаций [36–38], а их интуитивная понятность для разработчика выгодно отличает нечеткие системы ситуационного управления от близких по целевому назначению аналитически конструируемых систем [39].

Следует отметить, что в работах одного из соавторов данной статьи предложены методы автоматической генерации программных реализаций нечетких вычислителей, тождественных по точностным характеристикам своим модельным прототипам [40], что гарантирует портатбельность моделей нечетких систем принятия решений на уровень бортовой вычислительной системы.

ПРИМЕР НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НАДВОДНОГО АППАРАТА

В качестве иллюстрации применения предлагаемого подхода рассмотрим нечеткую систему управления направлением движения модели надводного аппарата (рис. 2).

В среде виртуальной реальности

VR происходит моделирование состояния сцены: расположение и, при необходимости, движение препятствий осуществляется в соответствии с тестовыми сценариями, а передвижение аппарата – в соответствии с командами нечеткой системы управления Fuzzy51, принимающей решения на основе текущей информации о состоянии сцены. Для удобства отладки состояния сцены динамически визуализируются.

Простейший пример нечеткой системы управления рулевым пером надводного аппарата на основе данных о направлении на точку прибытия, о направлении на центр ближайшего препятствия и о его угловых размерах показан на рис. 3.

Благодаря близости понятийного аппарата логики нечетких высказываний логике естественных рассуждений, система нечетких правил (рис. 3, ж) интуитивно понятна: в случае нахождения поблизости визуально большого препятствия (перекрывающего значительную часть обзора, а потому небезопасного) аппарат уклоняется от него; в случае отсутствия или малости препятствия аппарат наводится на точку прибытия.

Поведение модели аппарата на ряде тестовых сценариев показано в рис. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые подходы к построению систем управления движением автономных морских аппаратов обладают достаточной универсальностью: при увеличении количества обрабатываемых переменных можно реализовать управление в трехмерном пространстве, тем самым обеспечив управление движением надводно-подводного аппарата в среде с априорно неопределенными движущимися препятствиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Скороходов Д.А., Маринов М.Л.* Повышение управляемости судна // Мат-лы междунар. конф. «Транспорт России: проблемы и перспективы-2019». – СПб.: Изд-во Ин-та проблем транспорта им. Н.С.Соломенко РАН, 2019. – Т.1. – С.325–335.
2. *Хромов Е.В., Морева И.Н., Морев Д.С.* Предварительная оценка элементов судна, связанных с обеспечением его управляемости // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2022. – №1(351). – С.5–8.
3. *Виноградов В.Н., Ивановский Н.В., Новоселов Д.А.* Анализ влияния случайных параметров судна на управляемость и безопасность // Вестник Волжской гос. академии водного транспорта. – 2018. – №55. – С.169–181.
4. *Минеев В.И., Веселов Г.В., Ионов С.Е.* Безопасность и эффективность судоходства: проблемы и решения // Речной транспорт (XXI век). – 2013. – №4(63). – С.79–80.
5. *Чернышов А.В., Чиркова М.М.* Обоснование показателей для оценки управляемости и эксплуатационной устойчивости на курсе речных водоизмещающих судов // Вестник Волжской гос. академии водного транспорта. – 2015. – №45. – С.95–100.
6. *Истомин В.И., Хлебникова В.В.* Расчет экономии топлива при использовании различных ходовых режимов // Мат-лы 1-й Междисциплинарной Всеросс. науч.-практ. конф. «Развитие методологии современной экономической науки и менеджмента». – Севастополь: Изд-во Севастопольского гос. ун-та, 2017. – С.540–548.
7. *Григорьев Е.А., Варакса А.М.* Пути снижения себестоимости грузовых перевозок на внутреннем водном транспорте // Вопросы управления. – 2018. – №2(51). – С.92–96.
8. *Кучерявенко К.А.* Автономные суда: новая эра в морских перевозках // Материалы международной конференции «Транспортные системы: безопасность, новые технологии, экология». – Якутск: Изд-во Якутского ин-та водного транспорта, 2023. – С.84–88.
9. *Балушкин Е.М., Коротков С.С.* Автоматизация современного судна: перспективы // Морской вестник. – 2018. – №3(67). – С.115–116.
10. *Соловьев А.В., Чернышов А.В., Чиркова М.М.* Информационное обеспечение

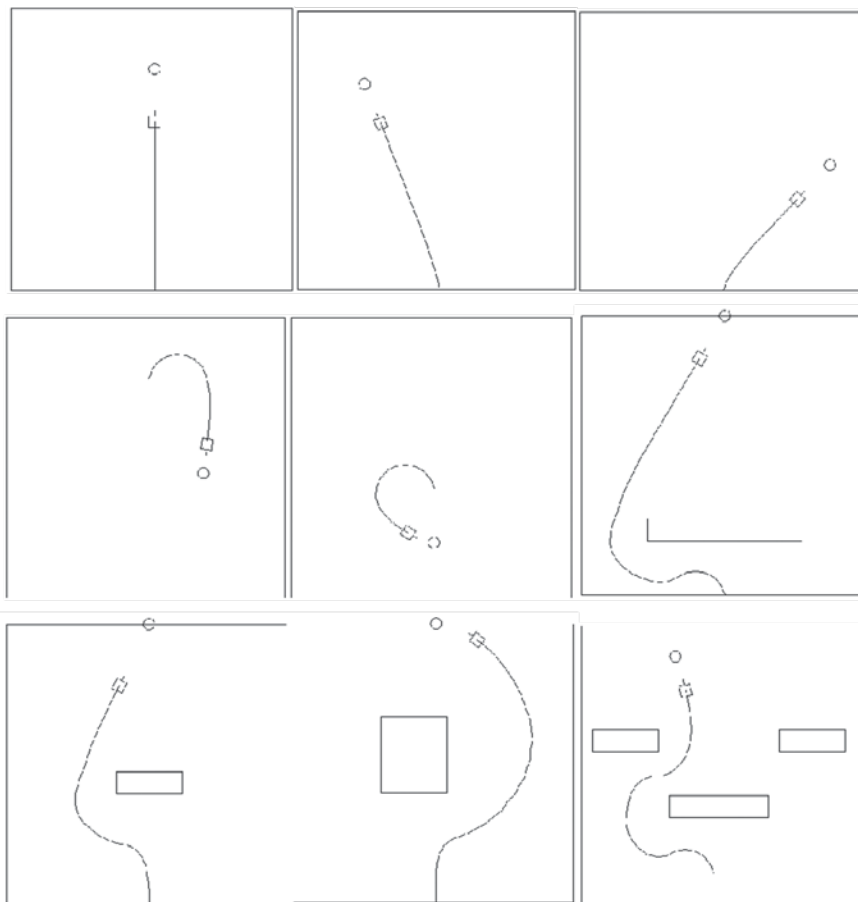


Рис. 4. Примеры траекторий движения аппарата в различных сценариях

- системы управления судном // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – №1-1(51). – С.71–75.
11. Белов О.А. Техническое обеспечение морских судов как фактор эффективной и безопасной эксплуатации морского транспорта // Мат-лы IV Международ. науч.-техн. конфер. «Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития». – Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского гос. техн. ун-та, 2022. – С.5–9.
 12. Клячко Л.М., Острецов Г.Э. Системы автоматического управления движением судна: методы создания и законы управления. – М.: Editorial URSS, 2017. – 272 с.
 13. Барцевский Е.Г. Анализ информационного обеспечения и принципов функционирования автоматизированных информационных систем в речных автоматизированных системах управления движением судов // Общество. – 2022. – № 1-1 (24). – С.25–28.
 14. Пушкарев И.И. Система управления движением и расхождением безэкипажного судна в соответствии с МППСС-72 // Вестник Гос.ун-та морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. – 2022. – Т.14. – №6. – С.837–848.
 15. Шпекторов А.Г., Костылев А.С., Корнев А.С. Модуль управления и стабилизации движения судна // Свид-во РФ о гос. регистрации программы для ЭВМ №2020618616. Оpubл. 30.07.2020// Бюлл. №8.
 16. Грошева Л.С., Плющев В.И. Анализ эффективности алгоритмов удержания судна с колесным движительно-рулевым комплексом на заданной траектории // Вестник Волжской гос.академии водного транспорта. – 2016. – №48. – С.47–55.
 17. Пашенцев С.В. Сравнительный анализ математических моделей судна с позиций управляемости по отклонениям // Тр. Мурманского гос. техн. ун-та. – 2017. – Т.20. – №4. – С.673–680.
 18. Горячев И.С., Клыш Т.П., Романов Е.Р., Прокофьев А.Е. Идентификация и синтез характеристик управляемости судна при оценке параметров маневрирования // Изв. Тульского гос. ун-та. Технические науки. – 2022. – №12. – С.258–263.
 19. Осокина Е.Б. Разработка робастных систем управления курсом судна и методов их настройки на основе интервальных моделей. – Дисс. на соискание уч. степ. к.т.н. – Владивосток: Морской гос. ун-тет им. адм. Г.И. Невельского, 2017. – 125 с.
 20. Штанько А.Н. Идентификация и адаптация процессов управления маневрами судна. – Дисс. на соискание уч. степ. к.т.н. – Новороссийск: ГМУ, 2022. – 126 с.
 21. Таранов А.Е., Блещик А.Э. Численное моделирование динамики судна в задачах управляемости и качки // Тр. Крыловского гос. науч. центра. – 2018. – №2(384). – С.29–38.
 22. Епихин А.И., Игнатенко А.В., Студеникин Д.Е., Хекерт Е.В. Основные тренды внедрения технологий искусственного интеллекта в управлении морскими автономными надводными судами // Эксплуатация морского транспорта. – 2021. – №1(98). – С.88–96.
 23. Бондарев В.А., Волкогон В.А., Нечаев Ю.И., Рагулина И.Р. Концепция управления безэкипажными судами // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – №4-2(50). – С.62–67.
 24. Баракат Л.А., Квятковская И.Ю. Планирование безопасных маршрутов безэкипажных судов на основе методов искусственного интеллекта // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. – Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2023. – №3. – С.46–54.
 25. Погодин Н.А., Оськин Д.А. Автоматизированная интеллектуальная система управления для судов, оснащенных винторулевыми колонками // Эксплуатация морского транспорта. – 2022. – №1(102). – С.41–46.
 26. Попов А.В. О повышении управляемости судна при ветре посредством ввода интеллектуальной составляющей в алгоритм авторулевого // Вестник Волжской гос. академии водного транспорта. – 2005. – №14. – С.27–35.
 27. Лукомский Ю.А., Стариченков А.Л., Модин Н.В. Системы управления движением судна с применением нейросетевых технологий // Мат-лы междунард. конфер. «Транспорт России: проблемы и перспективы-2019». – СПб: Изд-во Института проблем транспорта им. Н.С.Соломенко РАН, 2019, т.1, с.336–340.
 28. Овчаренко И.М. Интеллектуальная полезная модель автоматического управления судном с нейросетевой обработкой информации в концепции беспилотного судна Е-навигации // Транспортное дело России. – 2018. – №2. – С.97–103.
 29. Седова Н.А. Интеллектуальная система автоматического управления судном по курсу. – Дисс. на соискание уч. степ. к.т.н. – Владивосток: Морской гос. ун-тет им. адм. Г.И. Невельского, 2009. – 157 с.
 30. Степанова Е.И. Современные подходы к управлению движением судна с использованием нейронечетких и гибридных интеллектуальных систем // Вестник МГУ. – 2013. – №58. – С.84–86.
 31. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бином, 2013. – 798 с.
 32. Борисова А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
 33. Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 312 с.
 34. Комплекс программно-аппаратных средств для решения задач автономного судовождения // Бурьялин Я.В., Гринек А.В., Бойчук И.П., Боран-Кешишьян А.Л., Кондратьев С.И. // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – №4-1(58). – С.68–74.
 35. Богоявленский Д.М., Вознесенский Д.А. Перспективы дистанционного управления судном через спутниковый канал связи // Мат-лы 2-й Всеросс. науч.-практ. конфер. «Актуальные проблемы и перспективы развития системы отраслевого транспортного образования». – Казань: Изд-во Казанского филиала Волжского гос. ун-та водного транспорта, 2020. – С.16–24.
 36. Филатов В.И., Астрин В.В. Синтез нечёткой системы автоматического управления скоростным режимом автономного судна при следовании по программной траектории // Морские интеллектуальные технологии. – 2023. – №1-1(59). – С.245–253.
 37. Седов В.А., Седова Н.А. Программа интеллектуального авторулевого на принципах нечеткой логики для управления судном по курсу // Свид-во РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019611484. – Оpubл. 28.01.2019// Бюлл. № 2.
 38. Дмитриев С.П. Нечеткий критерий в задаче интеллектуального управления движением судна // Гироскопия и навигация. – 1998. – № 2 (21). – С.47–51.
 39. Терминальное управление безэкипажным катером в среде с подвижными препятствиями // Фишаев В.И., Медведев М.Ю., Пшихов В.Х., Переверзев В.А., Соловьев В.В. // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2021. – Т.22. – №3. – С.145–154.
 40. Васильев А.Е. Внедряемые системы автоматизации и вычислительной техники. Микроконтроллеры. – М.: Горячая линия-Телеком, 2018. – 590 с. ■

АНТРОПОМОРФНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ «СУДОВОДИТЕЛЬ-СУДНО»

*А.В. Саушев, д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой,
В.О. Тьрва, канд. техн. наук, проф., доцент,
В.И. Смирнов, аспирант,
А.А. Темкин, аспирант,
ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова,
контакт. тел. (812) 748 9685, +7 (921) 755 8976*

При создании современных эргатических систем «человек–машина» (СЧМ) на транспорте и в других областях для решения задач автоматизации управления получил распространение ситуационный подход. В ходе экспериментальных исследований мозговой деятельности человека при решении задач управления появились понятия «ситуационная модель» и «ситуационное управление» для формального описания управляемого объекта в СЧМ с помощью ситуаций, в которых ему предстоит действовать [1].

В начальный период развития данного подхода понятие «ситуация» отождествлялось с состоянием управляемого объекта СЧМ. В дальнейшем было введено понятие «текущая ситуация» путем добавления в исходное понятие сведений о структуре объекта и его функционировании в выделенный момент. Ситуационный подход получил дальнейшее развитие в сочетании с многоцелевым принципом управления. Этот принцип предусматривает разбиение главной цели управления на подцели, которые формализуются как локальные цели управления применительно к отдельным ситуациям [2]. В итоге формируемые стратегии управления являются прогностическими, учитывающими возможные сценарии ожидаемого будущего развития ситуации. Соответствующее управление получило название ситуационно-целевого. Оно сводится к решению последовательной цепочки задач: планирование; мониторинг ситуаций; генерация локальных целей; формирование стратегии управления; управление динамикой состояния СЧМ, например, в приложении к подвижным объектам [2].

Параллельно становлению методологии ситуационного управления развивалось направление исследований, опирающееся на законы механики и на формализацию моделей движения объекта, достигающего поставленной цели. При этом конкретной обстановке соответствует некоторое представление движения, которое может быть неполным в том смысле, что не является законом движения. Неполное представление движения конструктивно в том отношении, что ему соответствует некоторая цель. Последовательность кусочных неполных представлений может быть отображением ситуационно-целевого управления [3].

Использование неполных представлений движения открывает возможность применения взаимно соответствующих вербальных и формальных описаний процессов ситуационно-целевого управления в СЧМ. Поэтому формализация подоб-

ного управления на основе механистического подхода к моделированию движений, достигающих цели, может служить основанием для применения математических методов оптимизации управлений в СЧМ в расчете на использование экспертной системы при интеллектуализации управляющего автомата СЧМ [4].

Для водного транспорта концепция совмещенного управления развивается в приложении к эргатической системе «судоводитель–судно».

Изначальной задачей эргатических систем управления считалась задача правильного распределения функций управления между человеком-оператором (ЧО) и управляющим автоматом (УА) [6]. В дальнейшем с развитием теории планирования взаимодействия [5] внимание исследователей акцентировалось на композиции функций управления ЧО и УА с использованием человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) [6, 7].

Экспериментальные исследования режимов движения судов в условиях повышенной опасности показали, что судоводитель, он же ЧО, в оперативном порядке планирует не только движение судна, но и действия по управлению движением в зависимости от сложившейся ситуации, а также принимает субъективное и, по его мнению, наилучшее решение [8]. Такое решение и последующие действия ЧО учитывают возможности их реализации с помощью органов управления ЧМИ и обязательно последствия воздействий (обычно мускульных) на органы управления. Эти данные явились причиной введения в математическую модель объекта СЧМ параметров состояния органов управления ЧМИ, характеризующих не саму мозговую деятельность ЧО, а ее результат. При этом в технической реализации ЧМИ предполагалось совмещение во времени управляющих воздействий ЧО и УА через орган управления ЧМИ [9, 10]. В таком случае действия УА как бы «очеловечиваются», в связи с чем синтезируемое автоматом управление получило название антропоморфного [11, 12]. Такое управление можно рас-

сматривать как вариант ситуационно-целевого управления, так как ему ставится в соответствие полная система целей в стратегии управления, начиная от главной цели на некотором отрезке жизненного цикла СЧМ до последовательности элементарных целей, а также промежуточных, входящих в главную цель [13].

Исследования показали, что через параметры состояния органов управления ЧМИ можно установить соответствие целей ситуациям и неполным представлениям движения для антропоморфного управления [13]. Это обстоятельство используется далее при создании методики конструирования шаблонов антропоморфного управления объектом СЧМ, в которые закладывается оптимальность управления по тем или иным критериям. Задача рассматривается в общей постановке на основе примера системы «судоводитель–судно».

СИНТЕЗ ШАБЛОНОВ АНТРОПОМОРФНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

На первом этапе конструирования управления объектом СЧМ строится математическая модель объекта в пространстве состояний с использованием механистического подхода к моделированию в соответствии с работой [3]. В векторно-матричной форме для объекта с сосредоточенными параметрами можно записать

$$\dot{X} = F(X, U), \quad (1)$$

где X, U – векторные переменные, которые изменяются во времени t . Они представляются матрицами-столбцами фазовых координат x_1, x_2, \dots, x_n и параметров управления u_1, u_2, \dots, u_m соответственно, входящими в вектор-функцию $F(X, U)$. Точкой над буквой X обозначено выполнение операции дифференцирования фазовых координат по времени t .

Конкретизируем векторное дифференциальное уравнение (1) для продольного движения судна [14]:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2; \\ \dot{x}_2 &= a_1 x_2^2 + (a_2 x_2 + a_3) u. \end{aligned} \quad (2)$$

Параметры состояния: x_1 – координата центра масс судна в неподвижной системе координат (вдоль продольной оси судна); x_2 – скорость продольного движения судна (принимается условие $x_2 \geq 0$); управление u – упор движителя (винта), действующий в направлении продольной оси для координаты x_1 ; a_1, a_2, a_3 – коэффициенты, числовые значения которых зависят от осадки судна T и глубины судового хода H .

Расчетные значения коэффициентов для судна типа «Волго-Дон» приведены в табл. 1.

Для всех реальных значений скорости x_2 получаем условие $(a_1 x_2 + a_3) > 0$. Обычно учитывается ограничение скорости движения $x_2 \leq W = \text{const} > 0$. Величина упора винта u находится в пределах, заданных неравенствами $-0,56 \leq u \leq 1$, причем при отрицательных значениях u , когда $x_2 > 0$, происходит торможение движения судна.

Метод принципа максимума Л.С. Понтрягина предоставляет возможность рассчитать на следующем этапе конструирования управления оптимальную зависимость упора винта $u = u_{\text{он}}(t)$ от времени t в классе кусочно-непрерывных функций в результате решения специальной вариационной задачи [15]. Функция времени $u_{\text{он}}(t)$ оптимального по быстродействию управления показана на рис. 1 как результат решения задачи перемещения судна на некоторое (достаточно большое) расстояние из одного состояния неподвижности $x_2 = 0$ при $t = t_1$ в другое состояние неподвижности при $t = t_f$ за минимальное время, равное разности $t_f - t_1$. Характер приведенной зависимости при $f = 4$ (четыре разрыва функции в моменты времени t_1, t_2, t_3, t_4) не изменяется с увеличением разности $x_1(t_4) - x_1(t_1)$. Изменяются только положения точек разрывов

функции на оси времени. Отметим также, что вид графика $u = u_{\text{он}}(t)$ будет сохраняться и для решения задачи оптимального управления перемещением судна на максимальное расстояние $x_1(t_f) - x_1(t_1)$ (другой критерий) за заданное время, т.е. когда значения t_1 и t_4 считаются фиксированными.

Для практического использования полученного решения задачи оптимального управления на третьем этапе конструирования управления требуется решить вопрос о физической реализации функции $u_{\text{он}}(t)$ в СЧМ для точек ее разрывов. Таковую возможность в общем случае предоставляют математические модели управляющих

Количество R элементов множества Z зависит от числа и вида органов управления ЧМИ. Все элементы множества Z попарно различны. Размерность вектора X в выражении (3) больше, чем в формуле (1), за счет введения в него фазовых координат, характеризующих состояние органов управления ЧМИ. Например, для модели (2) при использовании многопозиционного органа управления упором гребного винта судна, рассмотренного в работе [10], элементы множества Z представлены в табл. 2. Значения положительных величин ω_B и ω_H определяются для конкретных аппаратов ручного управления ЧМИ по экспериментальным данным.

Таблица 2
Элементы множества Z неполных представлений элементарных движений

$r = 1$	$r = 2$	$r = 3$
$\dot{x}_1 = x_2$	$\dot{x}_1 = x_2$	$\dot{x}_1 = x_2$
$\dot{x}_2 = a_1 x_2^2 + (a_2 x_2 + a_3) x_3$	$\dot{x}_2 = a_1 x_2^2 + (a_2 x_2 + a_3) x_3$	$\dot{x}_2 = a_1 x_2^2 + (a_2 x_2 + a_3) x_3$
$\dot{x}_3 = \omega_B$	$\dot{x}_3 = 0$	$\dot{x}_3 = -\omega_H$

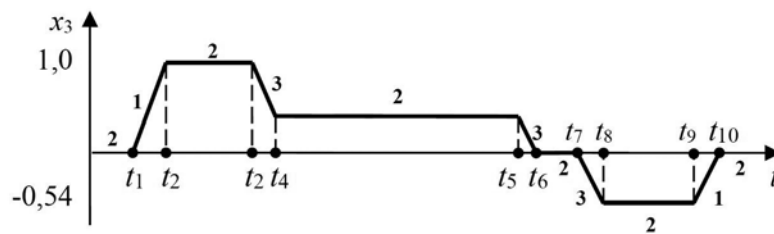


Рис. 2. Графическое отображение антропоморфного управления движением судна по критерию максимального быстродействия

воздействий ЧО на органы управления ЧМИ, полученные в [10]. Их использование приводит к замене математической модели (1) на другую модель в виде множества неполных представлений элементарных движений изображающей точки по траектории в пространстве состояний СЧМ:

$$Z = \{ \dot{X} = F^r(X), r = 1, 2, \dots, R \}. \quad (3)$$

Таблица 1
Расчетные значения коэффициентов дифференциальных уравнений (2)

Коэффициент	Единица измерения	Множитель	Осадка судна T , м					
			1,5		2,5		3,5	
			Глубина H , м		Глубина H , м		Глубина H , м	
			10	20	10	20	10	20
a_1	m^{-1}	10^{-3}	-2,39	-2,22	-1,75	-1,55	-1,03	-0,88
a_2	c^{-1}	10^{-2}	-1,79	-1,79	-0,46	-0,46	-0,18	-0,18
a_3	mc^{-2}	10^{-1}	2,18	2,18	0,93	0,93	0,40	0,40

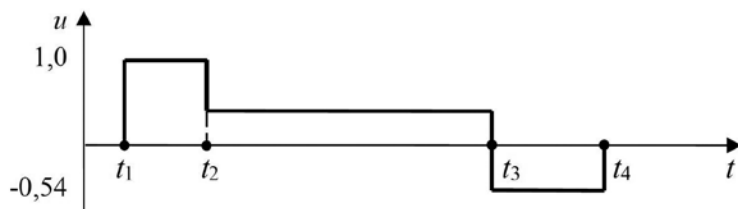


Рис. 1. Функция времени оптимальных управлений перемещением судна

Модель (3) является основой для построения антропоморфного управления и системы целей в человеко-машинной системе на завершающем этапе конструирования управления. Для рассматриваемой задачи управления продольным движением судна результат перехода от функции управления, показанной на рис. 1, к реализации антропоморфного управления в виде неполного представления движения органа управления показан на рис. 2.

Построенное антропоморфное управление сохраняет свойство оптимальности, обеспеченное решением классической задачи оптимального быстродействия. Таким образом, неполное представление антропоморфного управления можно записать компактным образом в виде последовательности номеров элементов множества (3). Техническая реализация такого управления осуществляется с помощью аппарата совместного управления ЧМИ [10].

Анализ результатов конструирования антропоморфного управления динамикой состояния системы «судоводитель–судно» показывает, что неполное представление антропоморфного управления не изменяется (сохраняет форму на графике) при различных

значениях осадки судна T и глубин судового хода H , которые указаны в табл. 1. Поэтому построенное неполное представление антропоморфного управления движением судна можно рассматривать в качестве шаблона антропоморфного управления. Такой шаблон может быть использован не только при решении задачи оптимального по быстродействию перемещения судна при смене позиций в результате его продольного движения, но и, как было отмечено, при определении оптимального управления перемещением судна на максимальное расстояние за заданное время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная методика конструирования шаблонов антропоморфного управления в СЧМ отражает один из возможных подходов к формированию базы знаний экспертной системы сведениями о типовых элементах ситуационно-целевого управления. Она построена на основе методов теории оптимального управления и композиции ситуационного и механистического подходов к планированию управления, основоположниками которых были Д. А. Поспелов и Г. В. Коренев.

На первом этапе строится математическая модель управляемого объекта СЧМ в форме нормальной системы обыкновенных дифференциальных уравнений. В качестве независимых переменных принимаются управляющие воздействия из класса кусочно-непрерывных функций времени. Зависимыми переменными являются фазовые координаты. Производные по времени от фазовых координат образуют вектор левой части системы дифференциальных уравнений модели управляемого объекта СЧМ (1). Модель соответствует требованиям к постановке классической задачи оптимального управления в методе принципа максимума Л. С. Понтрягина. Модель конкретизирована для задачи оптимального управления продольным движением судна.

На втором этапе анализируется результат решения классической задачи оптимального управления для ситуации, определенной детерминированными условиями по гипотезе пол-

ной определенности в ее трактовке Н. Н. Моисеевым [16]. Для оптимального по быстродействию управления перемещением судна из одной позиции в другую заданную позицию функция управления упором движителя имеет четыре разрыва первого рода. В рассмотренной ситуации принимались во внимание ограничения, накладываемые на величину упора движителя и скорость движения судна.

На третьем этапе решается задача физической реализации функции оптимального управления в СЧМ для точек разрывов. Для этого используются математические модели управляющих воздействий ЧО на органы управления ЧМИ. Осуществляется переход к расширенному за счет увеличения количества фазовых координат пространству состояний СЧМ. Исходная математическая модель управляемого объекта (1) преобразуется в другую модель СЧМ в виде множества неполных представлений элементарных движений (3).

На заключительном, четвертом, этапе строится шаблон антропоморфного управления на базе решения задачи оптимального управления и соответствующей последовательности неполных представлений элементарных движений в пространстве состояний СЧМ. Получены графические изображения траекторий, показывающие зависимость фазовых координат от времени в пространстве состояний системы «судоводитель–судно».

ЛИТЕРАТУРА

1. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука. – 1986. – 288 с.
2. Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Ситуационный подход в задачах автоматизации управления техническими объектами // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2018. – Т. 19. – №9. – С. 563–578.
3. Коренев Г.В. Цель и приспособляемость движения. – М.: Наука. – 1974. – 528 с.
4. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы. – М.: Наука. – 2006. – 333 с.
5. Cooper Alan, Reimann Robert, Cronin Dave. About Face 3. The Essentials of Interaction Design. – Wiley Publishing Inc. – 2007.

6. Raskin Jef. The humane interface: new directions in the design of computer systems. – ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. – New York, United States. – 2000. – P.233.
7. Сергеев С.Ф. Методологические проблемы человеко-машинного интерфейса. – Сб тр. XII Всеросс. совещания по проблемам управления, 2014. – М., 2014, с. 6414–6421.
8. Тырва В.О. Оптимизация управления движением судна в технологическом процессе шлюзования. – Мат-лы Всеросс. науч.-практ. конфер. «Проблемы развития транспортной инфраструктуры северных территорий». – СПб: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. – 2015. – С. 22–29.
9. Saushev A., Tyrva V. and Kovtun L. Joint control actions on electromechanical devices in ergatic systems. – E3S Web Conf. «Innovative Technologies in Environmental Science and Education» (ITESE–2019). – Section Environmental Engineering. – 2019. – Vol.135. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913501006>.
10. Тырва В.О., Саушев А.В. О реализации совмещаемых управляющих воздействий на объект «человек–машина» // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2020. – Т. 21. – №5. – С. 274–281.
11. Tyrva V.O., Saushev A.V., Shergina O.V. Anthropomorphic Control over Electromechanical System Motion: Simulation and Implementation. – International Russian Automation Conference (RusAutoCon)// IEEE. – 2020. – P. 374–379. DOI: [10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208070](https://doi.org/10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208070).
12. Тырва В.О. Автоматизация эргатической системы «человек–машина» на основе применения в ней антропоморфного управления // Автоматизация в промышленности. – 2021. – № 2. – С. 3–7.
13. Тырва В.О., Саушев А.В. Целеуказание совместного управления в системе «человек–машина»: моделирование и структуризация // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2023. – Т. 24. – № 2. – С. 67–74.
14. Тырва В.О., Саушев А.В. Аналитический подход к конструированию совместного управления движением эргатической системы «судоводитель–судно» // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2021. – Т. 22. – № 9. – С. 459–467.
15. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов – М.: Наука. – 1976. – 392 с.
16. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем – М.: Наука. – 1974. – 528 с. ■



НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова на протяжении всей своей богатой 158-летней истории активно и плодотворно занимается вопросами, связанными с созданием и развитием поисково-спасательной техники и технологий, развитием аварийно-спасательного и судоподъемного дела с учетом уроков и выводов крупных аварий на море. В решении ключевых задач развития сил и средств поисково-спасательной техники и технологий НТО судостроителей и сегодня занимает одно из ведущих мест. Многолетняя работа его специалистов постоянно направлена на координацию единой технической политики в данной области и обеспечение ее неразрывной связи с планами создания корабельного и судового состава. Важную роль в осуществлении единой научно-технической политики на основе национальных стандартов при создании водолазной и поисково-спасательной техники, работающей в условиях повышенного давления газовой среды, а также гидростатического давления, играет Технический комитет по стандартизации «Гипербарическая техника» ТК416, созданный по инициативе 40 ГНИИ МО РФ на своей базе и поддержанный специалистами Госстандарта России, УПАСР ВМФ, Морским научным комитетом ВМФ, управлениями Главкомандующего ВМФ и начальника вооружения Вооруженных сил РФ. Этот комитет образован приказом Председателя Госстандарта РФ Г. П. Вороницына № 191 от 27 апреля 1999 г.

В процессе деятельности ТК416 его структура и состав, а также входящие организации неоднократно актуализировались и уточнялись Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандартом) в соответствии с реформами в военном и в военно-промышленном комплексах страны, а также с учетом новых требований нормативных и правовых документов, таких как:

- Концепция развития национальной системы стандартизации Российской Федерации на период до 2020 года;

ТЕХНИЧЕСКОМУ КОМИТЕТУ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ ТК416 «ГИПЕРБАРИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА» - 25 ЛЕТ

В.С. Никитин, д-р техн. наук, проф., президент
Российского НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 710 4011, spntokrylov@mail.ru



В. Н. Илюхин (НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова – председатель ТК416), **С. Г. Данейкуль** (НИИ С и ПТ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» – ответственный секретарь ТК416), **Г. Н. Муру** (генеральный директор АО «51 ЦКТИС», вице-президент НТО судостроителей)

- Концепция создания и функционирования отраслевой подсистемы каталогизации гражданской морской техники;
- Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ;
- ГОСТ Р 1.1–2020 «Стандартизация в Российской Федерации. Технические комитеты по стандартизации и проектные технические комитеты по стандартизации. Правила создания и деятельности».

Неизменными все эти годы оставались руководители ТК416: его председатель – доктор технических наук, профессор В. Н. Илюхин и ответственный секретарь С. Г. Данейкуль.

В состав ТК416 по состоянию на 27.04.2024 г. входят 22 члена, в том числе представители федеральных учреждений, промышленных предприятий, научных и общественных организаций, занимающих ключевые позиции при создании и эксплуатации водолазной и поисково-спасательной техники:

- Федеральное автономное учреждение «Российский морской регистр судоходства»;
- Федеральное бюджетное учреждение «Морспасслужба» Росморречфлота;
- Служба поисковых и аварийно-спасательных работ главного командования ВМФ;
- Морское управление Федеральной

службы войск национальной гвардии;

- Санкт-Петербургское государственное казённое учреждение «Поисково-спасательная служба Санкт-Петербурга»;
- АО «Флаг Альфа», АО «Тетис Про», АО «Кампо», АО «Респиратор», ООО «НПП «Морские спасательные средства», ЗАО «СКБ ЭО при ИМБП РАН», АО «ЦКБ «Лазурит»;
- НИИ «ЛОТ» ФГУП «Крыловский государственный научный центр»;
- Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова;
- НИИ С и ПТ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»;
- АО «ЦНИИ «Курс»;
- НИИ перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;
- ФГБУН НИИ промышленной и морской медицины» ФМБА России;
- Автономная некоммерческая организация «Центр подводных исследований Русского географического общества»;
- Российское научно-техническое общество судостроителей им. акад. А. Н. Крылова;
- Ассоциация «Национальное отраслевое объединение подрядчиков

- подводно-технических работ»;
 - Межрегиональное Санкт-Петербурга и Ленинградской области «Всероссийское общество спасания на водах».

В процессе 25-летней деятельности ТК416 установилось конструктивное взаимодействие его членов и секретариата с органами управления, научными и эксплуатирующими организациями заказчиков поисково-спасательной техники., а также со смежными техническими комитетами Росстандарта:

- ТК 005 Судостроение
- ТК 011 Медицинские приборы, аппараты и оборудование
- ТК 023 Нефтяная и газовая промышленность
- ТК 032 Водный транспорт
- ТК 035 Услуги в области любительского дайвинга
- ТК 071 Гражданская оборона, предупреждение и ликвидация ЧС
- ТК 141 Робототехника
- ТК166 Вычислительная техника
- ТК 274 Пожарная безопасность
- ТК 318 Морфлот
- ТК 323 Авиационная техника
- ТК 320 Средства индивидуальной защиты и др.

За 1999–2024 гг. в ТК416 проведены научно-технические экспертизы более 40 проектов национальных стандартов, регламентирующих создание и работу гипербарической (водолазной и спасательной) техники, которые затем были утверждены Росстандартом. Членами ТК416 было разработано и утверждено Росстандартом 37 национальных стандартов, в том числе:

- стандарты по терминам, определениям и классификации: ГОСТ Р 51936–2002, ГОСТ Р 51119–2003, ГОСТ Р 52265–2004, ГОСТ Р 52206–2004, ГОСТ Р 52637–2006, 526627–2015, 56960–2016, 52265–2020 и др.;
- стандарты на водолазные комплексы, барокамеры и их элементы: ГОСТ Р 52123–2003, ГОСТ Р 52264–2004, ГОСТ Р 52935–2008, ГОСТ Р 56629–2015, ГОСТ Р 57217–2016, ГОСТ Р 57530–2017, ГОСТ Р 59723–2021 и др.;
- стандарты для водолазных снаряжений и его элементов, а также средств обеспечения водолазных работ: ГОСТ Р 52639–2006, ГОСТ Р 52936–2008, ГОСТ Р 52937–2008, ГОСТ Р 54584–2011, ГОСТ Р 55554–2013, ГОСТ Р 56627–2015, ГОСТ Р 56629–2015, ГОСТ Р 57528–2017, ГОСТ Р 70746–2023, ГОСТ Р 71302–2024 и др.;
- стандарты на спасательную технику: ГОСТ Р 52618–2006, ГОСТ Р 52619–2006, ГОСТ Р 52637–2006, ГОСТ Р 52638–2006, ГОСТ Р

52451–2009, ГОСТ Р 54596–2011, ГОСТ Р 55564–2013, ГОСТ Р 55946–2014, ГОСТ Р 56628–2015, ГОСТ Р 56961–2016, ГОСТ Р 57529–2017, ГОСТ Р 52265–2020, ГОСТ Р 70050–2022, ГОСТ Р 70445–2022 и др.

В стадии утверждения находятся следующие стандарты, прошедшие экспертизу в ТК416:

- ГОСТ Р «Средства спасания экипажей инженерных сооружений, эксплуатируемых на акваториях. Радиооборудование для поиска и спасения. Классификация»;
- ГОСТ Р «Безопасность на водных объектах Спасательные станции, спасательные посты. Общие технические требования»;

В соответствии с Программой национальной стандартизации на 2024 г. секретариат и члены ТК416 в настоящее время проводят экспертизу следующих национальных стандартов:

- ГОСТ Р «Техника спасательная на акватории. Термины и определения»;
- ГОСТ Р «Техника водолазная. Термины и определения»;
- ГОСТ Р «Техника водолазная. Газы и газовые смеси для дыхания водолазов. Общие технические требования»;
- ГОСТ Р «Барокамеры водолазные. Общие требования безопасности».

Особенностью работы ТК416 является активное участие его членов в конференциях, круглых столах, семинарах, проводимых секцией «Поисково-спасательная техника и технологии» НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова и другими организациями. Это позволяет полнее учитывать особенности современного развития водолазной и спасательной техники.

В соответствии с указанием заместителя руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (исх. № АП-20269/03 от 07.12.2020 г.) и с учетом Плана мероприятий («дорожная карта») развития стандартизации в Российской Федерации на период до 2027 г. ТК416 сформирована и 21.06.2021 г. утверждена перспективная программа работы до 2030 г., соответствующая требованиям пункта 5.1.1 ГОСТ Р 1.1–2020. Программа ежегодно уточняется и корректируется на заседаниях комитета.

Целью этой программы является дальнейшее формирование системы национальных стандартов по гипербарической водолазной, спасательной и медицинской технике, обеспечивающих выработку государственной политики, и нормативно-правовому регулированию в области аварийно-спасательного дела.

Основные задачи программы:

- внедрение апробированных на практике передовых технологий;
- повышение уровня безопасности жизни и здоровья людей;
- оптимизация и унификация номенклатуры продукции, обеспечение ее совместимости и взаимозаменяемости, сокращение сроков ее создания, освоения в производстве, а также затрат на эксплуатацию и утилизацию;
- обновление действующих национальных стандартов.

Активная роль НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова в развитии поисково-спасательной техники и технологий в современных условиях обусловлена еще тем, что с 2010 г. в стране отсутствует головная научная организация в данной области и в сфере предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на море и водных бассейнах России. Только за 2011–2020 гг. специалисты НТО судостроителей провели и приняли участие в ряде международных и всероссийских конференций, круглых столов, семинаров и заседаний, на которых рассмотрены, обсуждены и выработаны конкретные рекомендации по актуальным проблемам и вопросам развития данной техники и технологий, совершенствования системы поисково-спасательного обеспечения морской деятельности РФ.

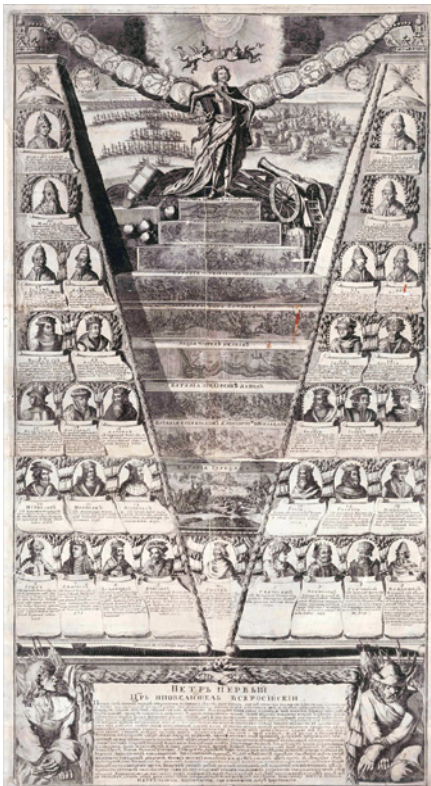
Дополнительный импульс работе НТО судостроителей в этом направлении придал приказ руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15.2.2021 г. № 131 именно наше Общество определено в качестве базовой организации в сфере унификации морской техники Постановлением Правительства РФ от 30.08.2019 № 1930-р в «Стратегии развития морской деятельности РФ на период до 2030 г.».

Работа ТК416 «Гипербарическая техника» нацелена на выработку государственной политики и нормативно-правового регулирования в области аварийно-спасательного дела, содействие решению основной приоритетной задачи развития поисково-спасательного обеспечения морской деятельности РФ на долгосрочный период – унификацию поисково-спасательной техники, предусмотренную «Морской доктриной Российской Федерации до 2030 года» и «Стратегией развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 г.».

Президиум Центрального правления НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, редсовет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» поздравляют руководство, секретариат и членов ТК416 с юбилеем и желают дальнейшей плодотворной работы. ■

В 2014 г. исполнилось 300 лет со дня победы русского флота в Гангутском сражении, и эта дата широко отмечалась в России. В тени этой победы эпохи Петра I осталось событие, о котором мы обязаны помнить – сражение на реке Амовжа в ходе Северной войны.

Первыми хронографами Северной войны были современники и сподвижники государя, непосредственные участники и творцы тех основополагающих событий для современной истории России. Гравюры того времени – своего рода фотолетопись событий, в которых главным действующим лицом был Петр I.



Гравюра Питера Пикарта и Феофана Прокоповича «Апофеоз воинской славы Петра Великого», 1717 г.

Композиция представленной гравюры, пронизанная символизмом, отражает не просто хронологию «славных воинских дел» Петра I, а логическую последовательность воплощения изначальных замыслов великого преобразователя, основанных на чаяниях его предшественников: возвращение России исконных путей «горою и водою», соединяющих во взаимодействии народы и страны и статуса великой морской державы, каковой она с тех пор не перестает быть.

О том, что эти замыслы были известны тем, кто расставил «могучие» заслоны на этих путях, пишет в своей работе «Северная война и Эстония» известный историк и дипломат Маргус Лайдре: «Начиная с 1697 г., в Стокгольм со всех сторон начали

В СИЯНИИ АНДРЕЕВСКОГО ФЛАГА

С.Н. Ирютин, канд. воен. наук, доцент, председатель СПбМС,
М.Н. Савин, исполнительный директор АНО «Псковская парусная регата», действительный член СПбМС,
В.Н. Торба, историограф СПбМС, morskoe-sobranie@yandex.ru

стекаться рапорты о царских планах выхода к берегам Балтийского моря». Якобы Петр говорил об этом в апреле 1697 года во время остановки в Митава (Елгава). Озабоченность генерал-губернатора Дальберга росла не по дням, а по часам. В своих записках он пишет о том, что русский государь уже не раз в кругу приближенных говаривал о своих намерениях «твердой ногой стать на Балтийском море и готов для сего употребить всю имеющуюся у него силу». Выход же к морю царю нужен, чтобы «было удобно торговлю вести меж Китаем, Индией, Персией и «любезными царскому сердцу» друзьями его из Голландии и Англии».

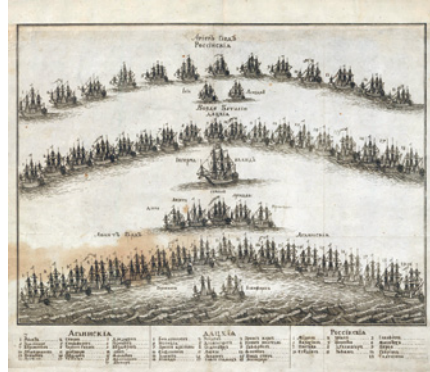
На гравюре П. Пикарта царь изображен стоящим на пирамиде из ступеней – побед в окружении своих предшественников – русских царей. А в центре – «Рюрик Первый великий князь России от фамилии Пруса», от которого вверх расходятся две гирлянды из листьев лавра, образуя знаковый символ победы V, объединяющий все элементы композиционного строя гравюры.



Фрагмент гравюры П. Пикарта

Ступени пирамиды – путь от «виктории, бывшей на Чюцком озере» (1704 г.) до «Полтавской баталии» (1709 г.) и «Баталии Турецкой» (окончание в 1713 г.). Это путь к заключению «окончательного мирного договора» России и Османской империи, снявшего «могучие заслоны» на южном пути.

Морские победы на Балтике показаны в верхней части гравюры – лейтмотив всего сюжета. Справа от фигуры Петра I Пикарт изобразил сражение при Гангуте (с гравюры А. Зубова «Гангутский бой») 1714 г., а слева – «де`баталию», т.е. демонстрацию флагов «соединенных флотов четырех держав (России, Голландии, Англии и Дании) под командованием «Его Царского Величества Петра I» у о. Борнхольм (крайний запад Балтики) в 1716 г. В картуше гравюры – слова Феофана Прокоповича (в то время архиепископ Псковский и Нарвский, автор предисловия к Морскому Уставу 1720 г.): «В союз многих монархов возжелен, умолен и обят бысть. В лето господне 1716 над четырьмя флоты: аглинским, голландским, дацким и своим российским – верховный повелитель оглашен». Петр Великий «владычествовал» четырьмя соединенными флотами союзных государств, командуя флагманом «Ингерманланд», на котором был впервые поднят штандарт императора.



Гравюра Питера Пикарта «Линия де`баталии соединенных флотов у острова Борнхольм», 1716 г., Российская национальная библиотека (РНБ)



«Командование 4-мя флотами у о. Борнхольм», Илья Овчаренко, 2022 г.

Таким образом, здесь, у о. Борнхольм, 328 лет назад Россия обрела статус великой морской державы, сделав путь по Балтике свободным.



Штандарт Петра Великого с линейного корабля «Ингерманланд», ЦВММ

На штандарте Петра Великого изображен двуглавый орел, держащий карты четырех морей: Балтийского и Белого, Азовского и Каспийского. Если соединить линиями эти карты, получится Андреевский крест, который изображен на теле двуглавого орла ниже щита с Георгием Победоносцем. На гербе России – двуглавым орле – впервые Андреевский крест и карты четырех морей были изображены А. Шхонебеком на центральной гравюре фейерверка 1-го января 1704 г., который был устроен в честь славных побед 1703 г.: Шлиссельбург, Новые Канцы, выход на побережье Балтики и основание Петербурга.



Центральная гравюра фейерверка 1 января 1704 г., А. Шхонебек «Три величьи фонари с толкованием»

1 июня 1703 г. Петр I в письме Корнилию (Корнелиусу) Ивановичу Крюйсу (первый командующий Балтийским флотом с 1704 по 1713 г., строитель Кронштадта и командир сухопутных частей на острове) пишет: «Письмо ваше, отъ 19-го дня апрѣля сего году писанное, мы зъло въ благополучной части воспріяли, ибо какъ во оноь вы жела-

ли, чтобъ штандартъ нашъ совершенъ былъ*, такожь подобная вѣкторія и на водѣ непразна была, то оною предъ зъло недавними днями чрезъ Божію помощь совершѣнъ [однакожь о желаемомъ мѣстѣ разспущенія оному еще три мили осталось**], кунно и зъ взятіемъ 2-хъ пѣрегатъ, одного имянемъ Еданъ 10 пушекъ и 2 баса, втораго Астрій 8 пушекъ и 8 басовъ, бывшія подъ командою вице-адмирала Нумберса, которыя взяты суть отъ 30 добрыхъ лодокъ, или карбасовъ».

В конце 1704 г. Корнелиус Крюйс прибыл на о. Котлин, куда также в конце 1704 г., после «вѣктории на Чудском озере», прибыли низовые полки, действовавшие с 1701 по 1704 г. на судах «плавнымъ путемъ» по Псковско-Чудскому озеру против шведской дерптской эскадры. В их числе – полки Андрея Вилимовича Шарфа и Федота Семёновича Толбухина, сформированные «генеральствомъ» князя Аникиты Ивановича Репнина в низовых городах – Казани и Царицыне.



Портрет Петра I, 1703–1706 гг., Схалкен Годфريد, ГИМ



Портрет Корнелиуса Крюйса

* «Штандартъ нашъ совершенъ былъ» в образе креста Андреевского.

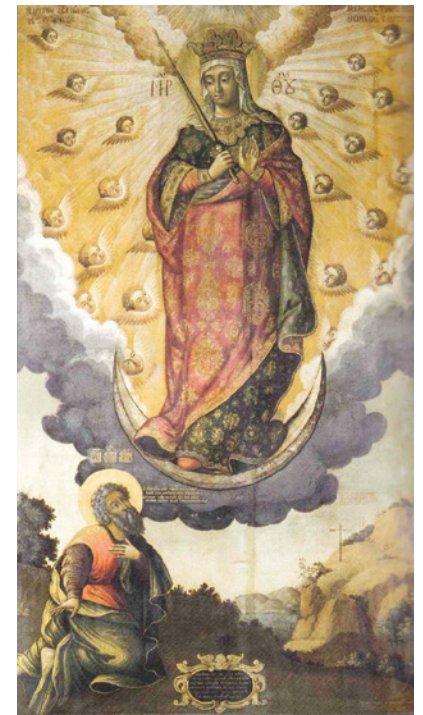
** 3 мили до «желаемого мѣста разспущенія оногю», очевидно до о. Котлин.



Толбухин маяк. Фотохудожник Иван Михайлов

Таким образом «штандартъ нашъ совершенъ былъ» в полной мере или, как писал Пётр I, «исправлен» в образе креста Апостола Андрея Первозванного, который «землю русскую светом Христова учения просветил». Символично то, что в этом году – сразу три знаменательные даты: 320-летие «вѣктории на Чудском озере» и основания Кронштадта, а также 325-летие Андреевского флага.

Здесь важно отметить то, что Св. Апостол Андрей, согласно летописям, принял благословление Богородицы в начале своего хождения по Руси на «горах киевских», где позже будет основан великий град Киев. В описании путешествия антиохийского патриарха Макария в XVII в., а также в труде просветителя Иосифа Полоцкого указано то, что апостол Андрей утвердил в Великом Новгороде митрополита, а во Пскове – архиепископа, и затем на варяжских судах вернулся в Рим. Путь этот Св. Апостола Андрея совпадает с описанием пути «Balteus» (пояс), которое приводит раннесредневековый хронист Адам Бременский: от Константинополя (Византия) на север через Русь и возвращение в Рим на судах варягов.



«Видение Апостолу Андрею на горах Киевских». Изограф Тихон Филантьев, 1701 г.

Знаменитый русский дипломат, командовавший в Полтавском сражении гвардейским Семёновским полком, князь Борис Иванович Куракин отмечал в своих записках нововведения 1704 г.: «Того года в канцелярии посольской как в титлах государевых, так и в других првенность учинилась, также и арма (герб) с прибавкою учинена, при которой начали крест Святого Андрея ставить».

«Того-ж года начаты шлюзы делать в Торжковском уезде, чтоб из Волги Тверцою вверх, а из Тверцы во Мсту, а Мстою в Новгород и в самое море Балтийское. Тот проход учинен водою в море Балтийское от моря Каспийского и от моря Каспийского в море Балтийское. Делали с четыре года; рабтников по 20 000».

Феофан Прокопович писал о том, что Петр Великий «тако добре преобразил Россию, яко преобразуется на весну земля уступившей зиме». Важно отметить, что Петр I постоянно указывал своим полководцам на недопустимость «чинить препятствия» торговым людям, чтобы «торговлю не пресечь».

Одним из «авторов» воплощения рукотворных «могучих заслонов» на путях-артериях был упомянутый ранее Эрик Ёнссон Дальберг – генерал-губернатор Ливонии, губернатор Риги, яростный русофоб и выдающийся фортификатор, по проектам которого, в числе других, были возведены крепости Нарва и Дерпт.



Модель крепости Dorpat, Эрик Дальберг, 1686 г., Стокгольмский музей армии

Но сразу после победы на Чудском озере в 1704 г. Дерпт и Нарва не устояли. Тому Эрик Дальберг уже не мог быть свидетелем.

В центре рельефа реверса медали «Взятие Дерпта 1704 г.» изображена коленопреклоненная фигура мавра. Это Св. Маврикий (Saint Maurice) – покровитель братства Черноголовых, отделения которого действовали в ганзейских прибалтийских городах.



Реверс медали «Взятие Дерпта», 1704 г.

Братство Черноголовых было создано почти одновременно в Риге и Ревеле на рубеже XIV–XV вв. как товарищество взаимопомощи молодых ганзейских купцов. В него не принимали дворян, тем более рыцарей. Членами братства могли стать молодые неженатые купцы из ганзейских городов побережья Балтики, которые по неласковому морю доставляли товары в Прибалтику (а также в Псков и Новгород) и обратно в немецкие города, в основном в Любек и Бремен. Несколько позже Дома Черноголовых появились в Дерпте (Тарту) и Нарве.



Рельеф с символом братства Черноголовых, 1561 г., Таллин, Дом Черноголовых

Петр I в 1697 г. с Первым Великим Посольством (не афишируя свой статус) был в Риге, по пути (следуя через Псков) в немецкие земли, Голландию и Англию. Очевидно, что уже тогда государь имел полное (и верное) представление о процветавшей ганзейской торговле на Балтике и имел планы включения России в этот процесс с целью дальнейшего развития и укрепления отношений с Ганзейским союзом. Также он имел представление о братстве Черноголовых и, как пишут, имел намерение быть принятым в его почетные члены в Риге.

Но в Риге Великое Посольство было принято не так, как рассчитывал Петр I: «Здесь мы рабским обычаем жили и сыты были только зрением...». Впоследствии он называл Ригу «проклятым местом», особо указывая на неприязненное отношение к посольству шведского генерал-губернатора Дальберга и самих жителей города. То есть, вероятно, Петру I в Риге отказали во вступлении в братство Черноголовых, что было для него оскорбительным.

В манифесте от 19 августа 1700 г. о начале войны со Швецией названы ее причины: «Шведы не только ограбили русских столь нужными отеческими пристанями, но и разумным очам к нашему нелюбозрению добрый задержали завес и со всем светом коммуникацию пресекали».

Петр понимал, что прибалтийские ганзейские города являются для России «воротами на европейские коммуникации», а сами эти города существуют под властью шведских генерал-губернаторов, оказывающим «редукцию» – национализацию земель в пользу Швеции, и «контрибуции» – взимания налогов для материального обеспечения шведских властей. Поэтому впоследствии при взятии городов «капитул» предлагалось подписывать шведским властям, а «универсал» с сохранением всех привилегий – светской элите.

Петру I было очевидно, что ганзейские или, как тогда писали в российских документах, «анские» города, – это сеть не только географических взаимосвязей, но прежде всего межличностных и производственно-экономических отношений на всем европейском пространстве. Поэтому он сохранил и братство Черноголовых, и большие гильдии в городах бывшей Ливонии.

Дерпт – был первым ганзейским городом, взятым Петром. Очевидно, поэтому в центре аверса «дерптской» медали – Св. Маврикий как символ молодых ганзейских купцов-мореходов, к сословию которых Петр питал симпатию.

На рельефе реверса «дерптской медали» – коленопреклоненная фигура «мавра» не просто протягивает градскую корону Петру Первому, но и подчиняется его скипетру. В «Истории корпуса Черноголовых в Ревеле» так и записано: «29 сентября 1710 года Скипетру Петра Первого подчинились, он оставил его в память («включённым»)». И далее: «26 декабря 1711 года Сам Брат-товарищ решил стать частью Корпуса Черноголовых, лично вписав своё имя в Книгу Братьев». То есть уже на следующий день после «взятия Ревеля» корпус Черноголовых присягнул Петру I. А ровно через год он сам лично в сопровождении приближенных, в том числе князя Меншикова, вступил в Корпус Черноголо-

вых именно в Ревеле. Характерно, что братства Черноголовых (в Риге, Ревеле и Дерпте), благодаря участию Петра I, были сохранены.



Закладная табличка Дома Черноголовых в Дерпте, 1784 г.

Внизу реверса медали «Взятие Дерпта» – надпись: «Освобождённый принят». «Togratum» – по латыни очищенный/освобождённый. Вверху реверса «дерптской» медали – цитата из «Метаморфоз» Овидия: «*Центр взят*». В то же время слово «Ovid» можно интерпретировать не как указание на цитату Овидия, как «*Разумевайте*», т.е. отсылка к Книге Пророка Исаии, гл.8, стих 9: «*Разумевайте языцы, ибо Бог с нами*». Получается так: «*Центр взят. Разумевайте*».

На рельефе реверса медали – Петр I в образе античного героя опирается на щит, на котором слова на латыни: «*Могучий заслон сломлен*». Эпитет «могучий» принято применять к главному символу Тевтонского ордена – «могучему кресту», состоящему из четырех Т-крестов «Тау».



«Могучий Крест» на щите хохмейстера Тевтонского ордена

После Полтавы (до взятия Риги и Ревеля) магистр Тевтонского ордена, «базирующийся» в Вюртемберге, присылал (в частном порядке) к Петру I посланников и предлагал пере-

дать Ливонию в управление тевтонскому Дому Св. Марии, который создаст буферное государство (между Россией и Европой), и станет вассалом России. Пётр I оставил этот запрос без ответа и поступил так, как считал верным – включил ливонские города в состав единого Российского государства. Хотя первоначально верный союзническим обязательствам полагал передать Ливонию во владение королю Польши и великому князю Литвы (а также курфюрсту Саксонии) Августу II Сильному. Но тот проявил слабость, подписав в 1706 г. со шведами Альтранштедтский мир, и Петр уже не мог на него полагаться. Документальным подтверждением этого является гравюра Адриана Шхонебека «Сражение на Амовже» 1704 г. Здесь на картуше изображен пустой, без герба щит.



Адриан Шхонебек «Изображение победы над флотом швецким на реке Амовже», 1704 г., Оружейная палата

Включение в 1710 г. Лифляндии и Эстляндии в русское подданство завершилось не заключением «аккордного договора» с Ливонией (или Тевтонским Домом), а непосредственно с корпорациями горожан, причем с сохранением их привилегий. Впоследствии во славу Отечества совершали великие дела многие «остзейские немцы», например Беллинсгаузен, Крузенштерн, Врангель, барон Толль и др. Примером тому является и то, что первым из правителей был принят в почетные члены во вновь созданное братство Черноголовых ландмейстер ливонского отделения Тевтонского ордена Конрад фон Фитингоф (1401–1413), который неоднократно в XV в. приводил немцев ко Пскову и проиграл Грюнвальдскую битву. Его потомок – Бруно Александрович барон фон Фитингоф, командир эскадренного броненосца «Наварин», тяжело раненный в Цусиме, героически погиб вместе с кораблем, не спустив Андреевский флаг. «Не забудь же, мать-Россия, имен Фитингофа и Дуркина, Рклицкого, Грау, Измайлова, Челкунова, Огарева и многих замученных и убитых за великое твое имя!», – писал М. О. Меньшиков в работе «Из писем к русской нации» (письмо «Мученики за Россию» 13.05. 1908 г.).



Бруно Александрович фон Фитингоф

В сражении на Амовже в составе корпуса генерал-майора фон Вердена участвовали полк Федора (Фридриха) Николаевича Балка (один из любимых полковых командиров Петра I, с 1704 по 1708 г. комендант Дерпта), а также полк его младшего брата Николая Николаевича Балка (с 1708 г. Новгородский пехотный полк).



Федор (Фридрих) Николаевич Балк, генерал-майор, комендант Эльбинга

На то, что Петр считал Дерпт ключевым на пути к Балтике, а также значимость самой Ливонии указывает медаль «*Взятие Ливонии*» (которую принято называть «*Завоевание Лифляндии*», что неверно). На реверсе медали Петр изображен в образе Геркулеса в львиной шкуре, держащего на плечах «планету» Ливония. В центре «планеты» – надпись «*Livonia, Derpt*» и контуры Чудского и Псковского озер. Надпись по окружности: «*Есть у меня силы держать эту тяжесть*».



Реверс медали «Взятие Ливонии», 1710 г.

Таким образом, эти две памятные медали – «Взятие Дерпта» (1704 г.) и «Взятие Ливонии» (1710 г.) – объясняют, почему на гравюре П. Пикарта «Апофеоз воинской славы Петра Великого» именно «Виктория, бывшая на Чудском озере», изображенная на верхней ступени пирамиды, на которой стоит Пётр Великий, центральное событие. Здесь же – на Чудском озере – остановил экспансию «латынчан» на Русь князь Александр Невский: Чудское озеро – Гангут – Борнхольм.

На центральное положение Дерпта и значимость «Сражения на Амовже» указывает и «Военная энциклопедия» 1909 г.: «**ДЕРПТЪ, древній и нынѣшній ЮРЬЕВЪ, уѣздн. гор. Лифлянд. губ. на р. Эмбахъ (Амовжа, ныне Эмайыги), былъ первонач-но эстон. кр-стью (таалинн), съ 1224 г. онъ становился епископскимъ замкомъ, а съ 1582 г. д. попеременно былъ то польской, то швед, кр-стью; въ 1704 г. б. взятъ Петромъ В., укр-нія б. разрушены и съ тѣхъ поръ уже не возстановлялись. ...Въ течение Сев. войны, при Петрѣ В. б. предпринята лѣтомъ 1704 г. осада Д. Необходимость этой операціи вытекала изъ стратег. значенія Д., к-рый, во-первыхъ, какъ убѣжище швед. рѣчн. ф-ліи, угрожалъ съ фланга коммуник. линіи осад. арміи Петра В., оперировавшей въ Ингерманландіи противъ Нарвы (р. Великая, оз. Псковское, Пейтусь/Чудское озеро/и р. Нарова) и, во-вторыхъ, занимая центр. положеніе въ узль грунт, и водн. путей, между Ригой, Ревелемъ и Перновомъ и въ то же время связанный водн. путями съ рус. областями, служилъ бы для Петра В. базой для дѣйствія въ внутр. операц. линіямъ противъ вышеуказанныхъ трехъ швед, крѣпостей. Вообще съ самыхъ древнѣйш. временъ старый Д. служилъ входн. воротами для всѣхъ наступат. операцій, направленныхъ на Лифляндію съ в., и, насколько кр-сть Д. являлась бѣльмомъ на глазу у Петра В., видно изъ дѣйствій швед. рѣчн. ф-ліи въ 1702 и 1703 гг. Въ апр. и іюнь 1702 г. швед, эс-дра всего изъ 2 шнявъ, 2 галеотовъ, по 6 пуш. на каждомъ, и одного бомбард, к-бля съ 2 морт., опустошаетъ рус. берегъ Пейтуса и въ**

рядъ стычекъ одерживаетъ верхъ надъ рус. к-блями, при чемъ нѣск. рус. галеоты и галионны б. пушено ко дну. Въ іюнь и іюль 1703 г. швед, ф-лія опять совершаетъ рядъ набѣговъ по всему рус. побережью Пейтуса, при чемъ разрушаетъ ок. 30 деревень, уничтожаетъ много корабел. матеріаловъ, а въ стычкахъ съ русскими к-блями у Мустасаара (Талабские острова в Псковском озере) и Лимасаара («узмень» – Тёплое озеро) выводитъ ихъ немало изъ строя. 3 мая 1704 г. швед, ф-лія, зимовавшая у Д., вошла въ озеро Пейтусь, но у устья р. Эмбахъ б. встрѣчена противъ городка Кастерска ожидавшей ее рус. флотиліей. Въ происшедшемъ здѣсь бою шведы б. разбиты, а вся ихъ ф-лія (14 воен. суд.) б. взята русскими. Эти обстоятельства принудили Петра предпринять осаду Дерпта возможно скорее».

В начале 1700 гг. в прибалтийских владениях Швеции под Дерптом располагался 15-тысячный корпус генерал-майора Вольмара Антона фон Шлиппенбаха. Кроме того, 7-тысячный корпус шведов находился в Ингерманландии.

На Чудском озере господствовала флотилия под командованием Карла Густава Лёшерна фон Херцфельдта. Корабли флотилии, укомплектованные матросами и солдатами морской пехоты, прикрывали тылы шведских войск, периодически совершали опустошительные рейды вдоль русского восточного побережья озера.

Например, в апреле 1702 г. корабли флотилии К. Г. Лёшерна, подойдя к деревне Самолва (где ныне установлен грандиозный монумент в память о Ледовом побоище), открыли по мирному поселению огонь из корабельных пушек. Население Самолвы, чуть более 30 человек, спряталось в лесу. Высаженная на берег десантная группа разграбила дома, после чего сожгла их. Добычей шведов стали домашняя утварь, одежда и другие личные вещи жителей Самолвы.

В другой раз шведы сожгли несколько дворов на о. Верхнем и «взяли в полон двух чернцов» – монаха местного Петропавловского мужского монастыря и отца-настоятеля Ордена Андрея Первозванного из Печерского монастыря. Нередко шведы захватывали в плен и псковских рыбаков для того, чтобы получить информацию о дислокации русских войск и местах строительства озерного флота.

Командующий русскими войсками, дислоцированными в Пскове, генерал-фельдмаршал Б. П. Шереметев осознавал стратегическую важность Чудского озера в предстоящем наступлении на Дерпт и Нарву. При его непосредственном участии зимами 1701–1703 гг. в Пскове и Псковском уезде развернулось массовое строительство судов.



Борис Петрович Шереметев

Комендант Пскова и (позже) обер-комендант Дерпта Кирилл Алексеевич Нарышкин писал в 1708 г., что в Псковском и Пусторжевском (ныне Новоржевском) уездах были созданы 10 кумпанств на старых «плотбищах», на которых «уездные люди» строили, оснащали, содержали (и сами потом ими управляли) сотни лодей.



Кирилл Алексеевич Нарышкин

В 1703 г. произошло несколько локальных столкновений между шведскими и русскими кораблями. Окончательный исход противостояния должен был решить 1704 г. 4 мая (ст. ст. шведская флотилия под командованием вице-адмирала К. Г. Лешёрна фон Херцфельдта на флагманской бригаantine «Каролус» вышла из Тарту в Чудское озеро. В составе флотилии насчитывалось 13 боевых судов, имевших на вооружении 99 орудий, 320 матросов и 250 солдат. Еще одно судно (прам) оставалось в Дерпте. Также составе шведской флотилии насчитывалось от 30 до 40 русских озерных судов.

Русское командование в Пскове опередило шведов, следуя основному направлению врага водные коммуникации». И направило к устью реки Амовже суда псковс-

кой флотилии с семью тысячами солдат и стрельцов под началом генерал-майора Николая фон Вердена. Отряд, поднявшись вверх по реке, высадился на берег недалеко от городка-крепости Кастре. Здесь и была устроена шведам ловушка. Солдаты перегородили реку у Кастре связанными между собой судами с полковыми 3-фунтовыми орудиями, а перед ними, чуть выше по течению, соорудили преграду из бревен. Низовой полк Андрея Шарфа и два полка псковских стрельцов Юрия Вестова и Василия Полибина засели на своих судах, а солдатские полки и гренадеры драгунского полка Кропотова распределились по берегам реки. При подходе шведской эскадры завязался бой, продолжавшийся около трех часов.

Дольше всех держался на флагмане «Каролус» сам К. Г. Лешёрн фон Херцфельдт. Согласно шведской версии, видя безнадежность положения и не желая сдаваться в плен, адмирал сам бросил горящий факел в пороховой погреб и погиб вместе с взлетевшим на воздух кораблем.

Разгром шведской флотилии был полным. У шведов около 200 человек погибли или дезертировали, 142 человека попали в плен, более 240 офицеров и солдат, находившихся в хвосте эскадры, спрыгнули на берег и возвратились в Дерпт. С русской стороны погибли подполковник, майор и 56 солдат, 162 человека получили ранения. В качестве трофеев русским достались все 12 кораблей противника с 86 орудиями и 12 вспомогательных лодок. Часть пушек шведы успели утопить в реке, но солдаты сумели их поднять. Дерптская шведская флотилия на Псковско-Чудском озере перестала существовать. Эта победа была очень важна для России.

Во-первых, это была первая победа России на Чудском озере после катастрофического поражения под Нарвой в ноябре 1700 г., что очень важно в моральном плане.

Во-вторых, она позволила осуществлять воинские перевозки по реке Великой и Чудскому озеру между Псковом, Дерптом, Тарту и Нарвой. Петр I лично руководил осадами Тарту и Нарвы, которые благодаря победе на Амовже были завершены осенью того же 1704 г.

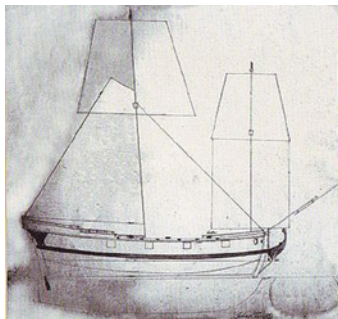
В честь победы на Амовже в только что возведенной в Петербурге Петропавловской церкви был совершен благодарственный молебен (впервые с колокольным звоном) и дан первый салют с бастионов крепости.

Петр I отписал фельдмаршалу Шереметеву в Псков, что остается только от всего сердца благодарить Господа Бога, ибо «таковые случаи Ему единому приписывать достоин». По поручению Петра голландец Адриан Шхонебек оперативно изготовил гравюру «Изображение победы над флотом шведским на реке Амовже» (илл.16.), текст надписи к которой был лично составлен царем. Эта гравюра стала

первой в ряду отечественных произведений живописи, изображающих выдающиеся военно-морские победы России.

Захваченные у шведов корабли перенесли в Псков, где им была устроена триумфальная встреча и «была стрельба из всех пушек». Эти суда приняли самое живое участие во взятии русским войсками и Дерпта, и Нарвы. На трофейной бригантине «Ульрика» (названа в честь сестры Карла XII) сам Петр I неоднократно выходил в Чудское озеро, чтобы принять непосредственное участие в сражениях под осажденными городами. Как правило, шкипером при Петре I был Иван Акимович Сенявин, который пользовался его особым доверием.

В Пскове и Дерпте на строительстве новых русских шняв, восстановлении трофейных судов, снятии чертежей русских озерных судов с 1705 по 1708 г. работали, присланные с Олонецкой верфи: английский мастер Вилим Снельгроу (граф Васильев) и голландец «плотник графа» с 7-ю корабельными плотниками из Олонца, первый русский судостроитель Филипп Петрович Пальчиков (который завершил свой жизненный путь здесь, в своем имении в дер. Устье, близ Псковского озера). В дальнейшем трофейные суда еще пару десятков лет, вероятно, использовались для перевозки грузов. И только 8 мая 1723 г. Петр I издал указ «о сломке находящихся при Пскове старых шведских судов», предварительно дав указание снять с них чертежи.



Шведская бригантине «Ульрика»

Нелишне отметить, что здесь же, на Чудском озере, получил боевое крещение в качестве командира морского солдатского полка Федот Семенович Толбухин, прославившийся в июне—июле 1705 г. обороной о.Котлин от массовой атаки шведского флота. И в эти дни вместе с 320-летием победы при Амовже мы отмечаем 320-летие основания Кронштадта.

Санкт-Петербургское Морское собрание, следуя своим уставным целям, в 2022 г. издало книгу Д. А. Сидорова «Шведские озерно-речные флотилии в российском приграничье (1701–1704)», в которой большая часть отведена подробно описанию этого сражения на Чудском озере.



Книга Д. А. Сидорова, титульный лист

11–17 июня 2024 г. действительными членами СПб МС М. Н. Савиным и А. Н. Груненьшевым во взаимодействии с Правительством Псковской области и ВФПС состоится «XX Псковская парусная регата», посвященная 320-летию победы при Амовже, будет проведена и выставка «320 лет сражению на Амовже» – «виктории на Чудском озере».

Кроме того, СПб МС совместно с Центральным военно-морским музеем им. императора Петра Великого и Государственным историко-архитектурным и природным музеем-заповедником «Изборск» в эти же дни проводит открытие выставки и круглый стол «320-летие Виктории на Чудском озере». Модератором круглого стола выступает доктор исторических наук, профессор, специалист истории России периода правления Петра I, автор многих книг П. А. Кротов.

Участники круглого стола: Н. П. Дубровская, директор ГМЗ «Изборск»; С. Н. Ирюгин, председатель СПбМС; Г. В. Вилинбахов, зам. директора Государственного Эрмитажа; А. Н. Груненьшев, директор АНО «Псковская регата»; С. Н. Савин, действительный член СПбМС; Р. Ш. Нехай, директор Центрального военно-морского музея Министерства обороны, генерал-майор; Д. А. Сидоров, автор книги «Шведские озерно-речные флотилии в российском приграничье (1701–1704)»; А. В. Лукошков, руководитель поисковых подводных работ на реке Амовже, Центр подводных исследований; А. Л. Чиликин, начальник пограничного управления ФСБ России по Псковской области, генерал-майор ФСБ; Г. Н. Василевич, директор музея-заповедника «Михайловское»; Ф. Г. Кочевин, директор «Псковской инженерной компании», исследователь истории Талабских островов, художник.

Состоится презентация книг П. А. Кротова и Д. А. Сидорова. ■

1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безгонорарной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** земснаряд, самоотвозный землесос, дноуглубление, технический флот, судоходство, судостроение

С.Ю. Афанасьева, А.В. Кошелев. Самоотвозные земснаряды: потребности, перспективы, характеристики. Часть 1//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 7

Предложены характеристики самоотвозного землесоса, оптимально отвечающего требованиям и учитывающего ограничения отечественного машиностроения. Обозначено возможное направление дальнейшего развития области проектирования земснарядов. Т. 3. Ил. 9. Библиогр. 21 назв.

УДК 629.565.1 **Ключевые слова:** плавучий кран, континентальный шельф, корпус, системы, грузоподъемность, математические модели

М.Г. Балашов, А.Б. Ваганов, Б.П. Иоонов, Ю.Ф. Орлов, А.Ю. Панов, В.Н. Савинов, С.Н. Хрунков. Современные проблемы проектирования плавучих кранов//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 12

Рассмотрены история развития и применение плавучих кранов, начиная с середины XX в. Предложена математическая модель, учитывающая многообразие физической природы подсистем и многокритериальность. Ил. 8. Библиогр. 23 назв.

УДК 629.5.016 **Ключевые слова:** достоверность, разрешности, гидродинамическое моделирование, программный код

Л.И. Вишневский, О.П. Орлов, В.Н. Половинкин. К вопросу о достоверности результатов численного моделирования обтекания тел с использованием программных продуктов//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 18

Рассмотрен вопрос о влиянии различных случайных и экспериментальных факторов на результаты численного моделирования обтекания объектов среды. Полученные результаты вынесены на публичное обсуждение и в дальнейшем могут служить средством корректного сопоставления получаемых расчетных и экспериментальных данных при исследовании различных вопросов. Т. 1. Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

УДК 620+691 **Ключевые слова:** тепловая изоляция корпуса корабля, свойства теплоизоляционных материалов, эксплуатационная экономичность корабля, минимизация эксплуатационных расходов

П.А. Зубков, М.Г. Войтович. Повышение эксплуатационной экономичности корабля за счет использования современных конструкционных материалов и технологий тепловой изоляции конструкций корпуса корабля//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 22

Приведены результаты расчетов экономии финансовых затрат за счет использования теплоизоляционных конструкций корпусов кораблей на основе современных теплоизоляционных материалов Rockwool в сравнении с традиционно используемым материалом ПЭТ-150. Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.5.083.5 **Ключевые слова:** эффективность, Главное управление судоремонтных заводов (ГУСРЗ) ВМФ, Центральное конструкторско-технологическое бюро ВМФ, АО «51 ЦКТИС»

Г.Н. Муру. Оценка возможностей судоремонтного

предприятия по выполнению эффективного ремонта морской техники. К 70-летию создания ГУСРЗ ВМФ и 51 ЦКТИС//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 30

Статья посвящена 70-летию создания в нашей стране специализированного центрального органа по управлению военным судоремонтом – ГУСРЗ, в системе которого для документального обеспечения поставленных задач была создана головная конструкторско-технологическая организация (ГКТО, ныне – 51 ЦКТИС). Ил. 2.

УДК 629.05.42 **Ключевые слова:** сэндвич-панели, ООО «Морские комплексные системы», зашивка, отделка судовых помещений

П.А. Зубков, А.А. Петрова. Современные сэндвич-панели как система зашивки помещений на кораблях//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 35

Рассмотрены выпускаемые с 2023 г. ООО «Морские комплексные системы» сэндвич-панелей различных видов для зашивки кораблей и судов, их качества и свойства. Помимо судостроения сэндвич-панели с успехом применяют и в гражданском производстве. Т. 1. Ил. 7

УДК 623.812 **Ключевые слова:** техническое состояние, дефекты железобетонных конструкций, коррозия бетона и арматуры, определение технического состояния, долговечность, классификационные документы

В.В. Харитонов, И.А. Васильев. Вопросы освидетельствования и ремонта железобетонных конструкций композитных плавучих доков//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 37

Представлены основные пути решения и меры по поддержанию в работоспособном и исправном техническом состоянии корпусных конструкций железобетонных плавучих доков. Ил. 1. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** военно-морской флот, корабельный газотурбинный двигатель, газотурбинный агрегат, конструкторское бюро, боевой надводный корабль

К.Г. Голубев, В.В. Барановский, И.А. Иващенко. Анализ рисков и угроз для технической базы корабельного газотурбостроения из-за отсутствия серийных поставок освоенных ПАО «ОДК-Сатурн» газотурбинных двигателей//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 44

В хронологической последовательности рассмотрены основные усилия, прилагаемые государством, главным командованием ВМФ, ПАО «ОДК-Сатурн» к возрождению базы отечественного корабельного (судового) газотурбостроения. Также проанализированы риски и угрозы утраты созданной технической базы в связи с отсутствием заказов со стороны МО РФ и других силовых ведомств. Т. 1. Ил. 7. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.127 **Ключевые слова:** ядерная энергетическая установка (ЯЭУ), системный подход, проектирование, бизнес-процесс

Ю.С. Самычко. Обоснование применения системного подхода при внесении изменений в процесс проектирования ЯЭУ для подводного флота//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 51

Приведено краткое описание актуального состояния дел при проектировании ЯЭУ для подводного флота МО РФ. Рассмотрены недостатки процесса проектирования ЯЭУ с точки зрения системного подхода с обоснованием его применения. Определены категории важнейших биз-

нес-процессов проектирования по трем отдельным аспектам и приведены пути устранения выявленных в этих бизнес-процессах недостатков. Ил. 1. Библиогр. 6 назв.

УДК 669–1 **Ключевые слова:** аддитивные технологии, аддитивные материалы, жаропрочные сплавы

И.И. Хрящев, Д.В. Данилов, Е.А. Ширяев. Новые отечественные материалы для аддитивного производства разработки ПАО «ОДК-Сатурн» и их применение в ГТД морского назначения//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 53

Представлены обзор технологий аддитивного направления и обзор материалов, разработанных в ПАО «ОДК-Сатурн» и применяемых в объединении, а также преимущество аддитивных технологий, паспортизированных для применения в аддитивном производстве. Т. 2.

УДК 621.5.09 **Ключевые слова:** осушка, очистка, воздух высокого давления, блоки осушки, ресивер, баллон, воздухохранительная станция

А.В. Бураков, С.М. Томашевский, И.А. Томашевская, С.Ю. Титова, Д.В. Балакшина. Создание судовых систем осушки, очистки, хранения и контроля параметров сжатого воздуха для энергетических установок, в том числе кораблей ВМФ и гражданского флота//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 55

Изложены вопросы создания судовых компрессорных систем высокого давления с функциями осушки, очистки, хранения, распределения по потребителям и контроля параметров сжатого воздуха. Проанализирован опыт разработки и применения блоков осушки и очистки сжатого воздуха АО «Компрессор» на кораблях ВМФ и судах, описаны новые и перспективные конструкции блоков очистки осушки, воздухохранительных станций и ресиверов пускового воздуха и средств контроля параметров качества сжатого воздуха. Т. 2. Ил. 18. Библиогр. 15 назв.

УДК 621.65 **Ключевые слова:** трубопроводная арматура, моделирование турбулентности, акустическая аналогия Лайтхилла, гидродинамический шум

А.Г. Мальцев, К.Г. Михеев, С.В. Огурцов, В.В. Пушкарев. Расчет уровней гидродинамического шума трубопроводной арматуры численными методами//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 61

Проведена оценка пригодности существующих методов моделирования турбулентности с целью проведения сопряженных акустических расчетов. Выполнен нестационарный гидродинамический расчет течения жидкости в трубопроводе с установленным дросселем, результаты которого использовались для изучения модельного источника шума при прогнозировании суммарных уровней акустического давления. Дана оценка возможности прогнозирования гидродинамического шума турбулентного потока на основе акустической аналогии Лайтхилла в ПО COMSOL Multiphysics. Т. 1. Ил. 10.

УДК 620.19:669.018.4, 621.431.74.004.2

Ключевые слова: газотурбинный двигатель (ГТД), характеристики, параметрическое диагностирование ГТД

И.П. Леонова, А.З. Багерман, М.Н. Буров. Результаты испытаний газотурбинного двигателя с типовыми неисправностями проточной части. Влияние солей морской воды на эксплуатацию газотурбинного двигателя//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 66

Рассмотрены закономерности изменения характеристик ГТД в результате эксплуатации в атмосфере, методы их прогнозирования и диагностирования. Т. 6. Ил. 6. Библиогр. 8 назв.

УДК 62–251 **Ключевые слова:** дейдвудное устройство, дейдвудный подшипник, бакаут, береза прессованная, гребной вал, вкладыш

А.А. Халыкин, А.В. Шамаев, И.Н. Медведев. Применение прессованной древесины березы для изготовления вкладышей дейдвудных подшипников судов//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 70

Дейдвудное устройство судна является опорой гребного вала и располагается в дейдвудной трубе. Представлена конструкция дейдвудного подшипника, состоящая из вкладышей. Сами вкладыши изготавливаются из прессованной древесины по ГОСТ Р 54912–2012 «Древесина модифицированная для подшипников скольжения. Технические условия». Т. 2. Ил. 2. Библиогр. 12 назв.

УДК 629.5.035 **Ключевые слова:** судовой валопровод, гребной вал, усталость, долговечность, прогнозирование, нестационарное нагружение, вероятность, методика

В.К. Румб, Хтоо Наннг Аунг. Учет нестационарности нагружения при прогнозировании усталостной долговечности судовых валопроводов//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 72

Предлагается оценивать усталостную долговечность валов судового валопровода в виде суммы накопленных повреждений, рассматривая каждый эксплуатационный режим в отдельности. На основе откорректированной гипотезы линейного суммирования повреждений получена расчетная зависимость для прогнозирования долговечности валов. Приведены методические положения, позволяющие учитывать вероятностную природу действующих нагрузок и рассеивание прочности материала. На конкретном примере показано, насколько учет нестационарности нагружения может снизить расчетную долговечность валопровода. Ил. 3. Библиогр. 9 назв.

УДК 681.5 **Ключевые слова:** электрохимический генератор (ЭХГ), воздушнонезависимая энергетическая установка (ВНЭУ), система управления, топливный элемент, АРМ

А.Н. Дядик, А.В. Балакин, А.В. Юшков. Разработка системы управления воздушнонезависимой энергетической установки с электрохимическим генератором//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 75

Представлены результаты разработки опытного образца системы управления воздушнонезависимой энергетической установки с электрохимическим генератором и получением водорода из дизельного топлива, предназначенной для автоматизированного управления техническими средствами и автоматического поддержания параметров работы управляемых элементов системы. Охарактеризован опытный образец, его управление исполнительными органами, механизмами; способ измерения, сбора, обработки аналоговых, кодированных цифровых и дискретных сигналов от источников информации. Ил. 7. Библиогр. 7 назв.

УДК 629.58:629.5.03 **Ключевые слова:** режим «зависания», автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), движительно-рулевой комплекс (ДРК), электрохимический генератор (ЭХГ), батарея топливных элементов (БТЭ), естественная циркуляция (ЕЦ), морская (заборная) вода, температура, конвективный теплообмен

Н.С. Вахрушина, А.Н. Дядик. Теплообмен в энергетическом отсеке автономного необитаемого подводного аппарата в режиме «зависания»//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 79

Приведена методика расчета, по которой написана программа на языке Mathcad-15, и рассчитаны параметры энергетического отсека с батареей топливных элементов АНПА в наиболее ответственном режиме его использования – режиме «зависания», когда теплота, передаваемая за борт, отводится за счет естественной циркуляции заборной воды. Т. 2. Ил. 4. Библиогр. 4 назв.

УДК 536.1 **Ключевые слова:** реальный газ, идеальный газ, метан, теплоемкость, уравнение адиабатного процесса, уравнение состояния, тепловой двигатель

Д.М. Кучинский, Д.О. Глазырина, С.А. Паимцев, Я.А. Бойко. Определение теплоемкости метана с помощью уравнения состояния реального газа//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 83

Предлагается новая методика расчета теплоемкости газов, по которой из-за введения показателя адиабаты реального газа удается объяснить изменение показателя адиабаты в процессе расширения или сжатия газа. Определяется теплоемкость метана, и полученные результаты сравниваются с данными справочных таблиц. Ил. 1. Библиогр. 2 назв.

УДК 621.002.3 **Ключевые слова:** гидропривод, гидроцилиндр, полиамидное покрытие, долговечность, математическая модель, параметры долговечности, результаты эксперимента

А.А. Соловьев. Применение полиамидных покрытий в гидроцилиндрах объемного гидропривода//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 85

Посвящена применению полиамида ПА-6/66–3 в объемном гидроприводе на поршнях гидроцилиндров. Приведены методика и оборудование для определения параметров долговечности полиамида и рассмотрено влияние наполнителей. Показана математическая модель и изложены в табличной форме результаты экспериментального определения параметров долговечности. Т. 2. Ил. 6. Библиогр. 7 назв.

УДК 623.973 **Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле, система компенсации, электромагнитная индукция, измеритель индукции магнитного поля, источник низкочастотного электромагнитного поля, управляющая обмотка АСК, компенсационная обмотка АСК

Б.Ю. Семёнов. Модификация канала управления токами корабельных систем компенсации низкочастотных электромагнитных полей с целью повышения помехоустойчивости//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 89

Проанализирована электрическая модель корабельных систем компенсации низкочастотных электромагнитных полей с непосредственным управлением тока, сформулированы предложения по его модификации с целью повышения помехоустойчивости в процессе настройки и эксплуатации. Ил. 8.

УДК 004.891.3 **Ключевые слова:** формализация предметной области, онтология проектирования, моделирование систем управления, стадии и жизненный цикл автоматизированных систем, система сквозного концептуального проектирования

С.М. Доценко, Д.В. Звездарёв, В.В. Игумнов, И.А. Устинов, С.В. Филиппов, Е.А. Рылов, И.А. Полковников. Вопросы моделирования и искусственного интеллекта в системе сквозного концептуального проектирования систем и комплексов управления специального назначения//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 93

Предложен подход к формализованному описанию и сопровождению стадий создания систем, комплексов управления специального назначения (СКУ СН) в рамках системы сквозного концептуального проектирования. Предложены принципиальные схемы, подходы к формализации предметной области и выработке требований, позволяющие синтезировать описание функционирования СКУ СН. Обозначены направления дальнейших исследований. Ил. 4. Библиогр. 15 назв.

УДК 621.396.4 **Ключевые слова:** видеоконференцсвязь, распределение видеотрафика, качество доставки пакет, линейное программирование

А.В. Давыдов, С.С. Попов, А.С. Попов. Изменение объема видеотрафика в каналах транспортной сети связи//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 98

Выполнен анализ организации видеоконференцсвязи в условиях изменения ресурса пропускной способ-

ности транспортной сети. В рамках задачи линейного программирования учтены ограничения на производительность сети на физическом, канальном и транспортном уровнях модели взаимодействия открытых систем и предложена итерационная процедура их изменения с учетом реального состояния сети связи. Ил. 2. Библиогр. 10 назв.

УДК 67.02 **Ключевые слова:** специальный технологический процесс, пайка, влагозащита, надежность, наработка на отказ

В.А. Казначеев, М.В. Плюснин. Специальные технологические процессы в радиоэлектронной аппаратуре//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 103

Исследованы возможные критерии оценки технологических процессов, выполнение которых способно повысить надежность аппаратуры. Приведены примеры процессов, перевод которых в класс специальных позволит существенно повысить качество и надежность выпускаемой продукции. Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

УДК 629.069 **Ключевые слова:** обростание, защита трубопроводов судна, блок питания

А.К. Аристова, Ю.А. Степанов, К.А. Смирнов. Блок питания анодов системы защиты от обростания трубопроводов заборных систем судна//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 107

Проанализированы требования к блоку питания анодов системы защиты трубопроводов от обростания. Описана структура, приведены технические параметры разработанного АО «МНС» блока питания анодов системы защиты от обростания трубопроводов заборной воды судна. Ил. 4

УДК 681.5.015 **Ключевые слова:** база знаний, динамический объект, растущие пирамидальные сети, темпоральная база знаний, онтологический инжиниринг, обобщенные описания

К.В. Лапшин. Метод формирования обобщенных описаний для темпоральных баз знаний в контуре моделирования сложного динамического объекта//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 109

Предложен метод формирования базы знаний темпоральных моделей для сложных динамических объектов. Данный метод формализации рассуждений в системах жесткого реального времени позволяет эффективно решать задачи управления, диагностики и моделирования непрерывных процессов. Библиогр. 6 назв.

УДК 004.896, 004.384, 656.052.48 **Ключевые слова:** нечеткий вычислитель, система принятия решений, встраиваемая интеллектуальная система управления, микроконтроллер

А.Е. Васильев, А.В. Вегнер, В.А. Карпенко, Йе Мин Хтет, Хтут Шайн. Применение методов теории нечетких множеств в задачах управления движением маломерного беспилотного судна//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 112

Рассмотрены подходы к разработке встраиваемых интеллектуальных систем управления движением безэкипажного судна, основанных на нечетких правилах. Приведены примеры разработки алгоритмического обеспечения системы-прототипа. Ил. 4. Библиогр. 40 назв.

УДК 62–50 **Ключевые слова:** эргатическая система, антропоморфное управление, модель, шаблоны управления, судно

А.В. Саушев, В.О. Тырва, В.И. Смирнов, А.А. Темкин. Антропоморфное управление в эргатической системе «судоводитель–судно»//Морской вестник. 2024. № 2 (90). С. 116

Рассмотрена задача конструирования совместного управления движением судна в эргатической системе «судоводитель–судно». С целью унификации антропоморфного управления движением судна на уровнях целеуказания и планирования предложено применять шаблоны из нескольких сигналов дискретного управления. Т. 2. Ил. 2. Библиогр. 16 назв.

1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor «MathType.» Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine.

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol.

ABSTRACTS

UDC 629.5.01 **Keywords:** dredger, self-hauling dredger, dredging, technical fleet, shipping, ship-building

S.Yu. Afanaseva, A.V. Koshelev. Self-hauling dredgers: needs, prospects, characteristics. Part 1//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 7

The characteristics of a self-hauling dredger are proposed that optimally meets the requirements and takes into account the limitations of domestic mechanical engineering. A possible direction for further development of the field of dredge design is indicated. T. 3. Fig. 9. Bibliography 21 titles.

UDC 629.565.1 **Keywords:** floating cranes, continental shelf, hull, systems, lifting capacity, mathematical models

M.G. Balashov, A.B. Vaganov, B.P. Ionov, Yu.F. Orlov, A.Yu. Panov, V.N. Savinov, S.N. Khrunkov. Modern problems of designing floating cranes//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 12

The history of the development and use of floating cranes, starting from the mid-20th century, is considered. Mathematical positioning models using simulation are essential for effective design and control, as well as to prevent operational errors. It is proposed to develop a mathematical model that takes into account the diversity of the physical nature of subsystems and multicriteria. Fig. 8. Bibliography 23 titles.

UDC 629.5.016 **Keywords:** reliability, errors, hydrodynamic modeling, program code

L.I. Vishnevsky, O.P. Orlov, V.N. Polovinkin. On the issue of the reliability of the results of numerical simulation of flow around bodies using software products//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 18

The question of the influence of various random and experimental factors on the results of numerical simulation of the flow of a medium around objects is considered. The results obtained were submitted for public discussion and in the future can serve as a means of correctly comparing the obtained calculated and experimental data when studying various issues. T. 1. Fig. 4. Bibliography 6 titles.

UDC 620+691 **Keywords:** thermal insulation of ship hulls, properties of thermal insulation materials, operational efficiency of the ship, minimization of operating costs

P.A. Zubkov, M.G. Voytovich. Increasing the operational efficiency of the ship through the use of modern structural materials and technologies for thermal insulation of ship hull structures//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 22

The article considers the main approaches to assessing the effect of thermal insulation of surface ship hulls on the operational efficiency of the ship. The influence of the properties of thermal insulation materials, conditions and terms of their operation on the economic costs of ship operation is considered in detail. Special attention is paid to the possible deterioration of the characteristics of thermal insulation materials over time. Fig. 4. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5.083.5 **Keywords:** ship repair, capability assessment, efficiency, Main Directorate of Ship Repair Plants (GUSRZ) of the Navy,

Central Design and Technology Bureau of the Navy, JSC 51 CDTISR

G.N. Muru. Assessing the capabilities of a ship repair company on efficient repair of marine equipment. To the 70th anniversary of the creation of the GUSRZ and 51 CDTISR//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2(90). P. 30

The article is dedicated to the 70th anniversary of the creation in our country of a specialized central body for managing military ship repair – GUSRZ, in the system of which a leading design and technological organization (GKTO, now 51 CDTISR) was created to document the assigned tasks. Fig. 2.

UDC 629.05.42 **Keywords:** sandwich panels, Marine Complex Systems LLC, lining, finishing of ship premises

P.A. Zubkov, A.A. Petrova. Modern sandwich panels as a system for covering rooms on ships//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 35

The sandwich panels of various types produced since 2023 by Marine Complex Systems LLC for lining ships and vessels, their qualities and properties are considered. In addition to shipbuilding, sandwich panels are successfully used in everyday life. T.1. Fig. 7.

UDC 623.812 **Keywords:** inspection, technical condition, defects of reinforced concrete structures, corrosion of concrete and reinforcement, determination of technical condition, durability, classification documents

V.V. Kharitonov, I.A. Vasil'ev. Inspection and repair issues reinforced concrete structures of composite floating docks//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 37

The issues of inspection and repair of reinforced concrete structures of composite floating docks are considered. Fig.1. Bibliography 6 titles.

UDC 621.436:621.438 **Keywords:** navy, naval gas turbine engine, gas turbine unit, design bureau, surface combat ship

K.G. Golubev, V.V. Baranovsky, I.A. Ivashchenko. Analysis of risks and threats to the technical base of ship gas turbine construction due to the lack of serial supplies of gas turbine engines mastered by PJSC UEC-Saturn//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 44

In chronological order, the main efforts made by the state, the main command of the Navy, and PJSC UEC-Saturn to revive the base of the domestic ship (ship) gas turbine construction are considered. The risks and threats of loss of the created technical base due to the lack of orders from the Ministry of Defense of the Russian Federation and other law enforcement agencies were also analyzed. T.1. Fig.7. Bibliography 4 titles.

UDC 629.127 **Keywords:** nuclear power plant, systems approach, design, business process

Yu.S. Samychko. Justification for the use of a systems approach when making changes to the design process of nuclear power plants for the submarine fleet//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P.51

A brief description of the current state of affairs in the design of nuclear power plants for the submarine fleet of the Russian Defense Ministry is given. The disadvantages of the nuclear power plant design process are considered from the point of view of a systems approach with justification for its application. Categories of the most important

design business processes are identified in three separate aspects and ways to eliminate the shortcomings identified in these business processes are given. Fig. 1. Bibliography 6 titles.

UDC 669–1 **Keywords:** additive technologies, additive materials, heat-resistant alloys

I.I. Khryashchev, D.V. Danilov, E.A. Shiryayev. New domestic materials for additive manufacturing developed by PJSC UEC-Saturn and their use in gas turbine engines for marine purposes//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 53

An overview of additive technologies and a review of materials developed at PJSC UEC-Saturn and used in the association, as well as the advantages of additive technologies certified for use in additive manufacturing, are presented. T. 2.

UDC 621.5.09 **Keywords:** drying, cleaning, high pressure air, drying units, receivers, cylinders, air storage stations

A.V. Burakov, S.M. Tomashevsky, I.A. Tomashevskaya, S.Yu. Titova, D.V. Balakshina. Creation of shipboard systems for drying, cleaning, storing and monitoring the parameters of compressed air for power plants, including ships of the Navy and civil fleet//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 55

The issues of creating high-pressure ship compressor systems with the functions of drying, cleaning, storage, distribution to consumers and control of compressed air parameters are outlined. The experience of developing and using compressed air drying and purification units of Kompressor JSC on Navy ships and ships is analyzed, new and promising designs of drying purification units, air storage stations and starting air receivers and means for monitoring compressed air quality parameters are described. T. 2. Fig. 18. Bibliography 15 titles.

UDC 621.65 **Keywords:** pipeline fittings, turbulence modeling, Lighthill acoustic analogy, hydrodynamic noise

A.G. Mal'tsev, K.G. Mikheev, S.V. Ogurtsov, V.V. Pushkarev. Calculation of hydrodynamic noise levels of pipeline fittings using numerical methods//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 61

The main approaches to calculating the hydrodynamic noise of a turbulent flow are considered. The suitability of existing turbulence modeling methods for performing coupled acoustic calculations was assessed. An unsteady hydrodynamic calculation of fluid flow in a pipeline with an installed choke was performed, the results of which were used to study a model noise source when predicting total acoustic pressure levels. The calculation results are compared with experimentally obtained data. An assessment is made of the possibility of predicting the hydrodynamic noise of a turbulent flow based on the Lighthill acoustic analogy in COMSOL Multiphysics software. T.1. Fig. 10.

UDC 620.19:669.018.4, 621.431.74.004.2

Keywords: gas turbine engine, characteristics, parametric diagnostics of gas turbine engines

I.P. Leonova, A.Z. Bagerman, M.N. Burov. Test results of a gas turbine engine with typical flow path faults. The influence of seawater salts on the operation of a gas turbine engine//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 66

The patterns of changes in the characteristics of gas turbine engines as a result of operation in the atmosphere, methods for their prediction and diagnosis are considered. T. 6. Fig. 6. Bibliography 8 titles.

UDC 62–251 **Keywords:** stern tube device, stern tube bearing, backout, pressed birch, propeller shaft, liner

A.A. Khalyavkin, A.V. Shamaev, I.N. Medvedev. Application of pressed birch wood for the manufacture of inserts for sterewood bearings of ships//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 70

The ship's stern tube supports the propeller shaft and is located in the stern tube. The design of a stern tube bearing consisting of liners is presented. The liners themselves are made of pressed wood in accordance with GOST R 54912–2012 «Wood modified for plain bearings. Technical conditions». T. 2. Fig. 2. Bibliography 12 titles.

UDC 629.5.035 **Keywords:** shipshafting, propellershaft, fatigue, durability, forecasting, unsteady loading, probability, methodology

V.K. Rumb, Htoo Naing Aung. Taking into account non-stationary loading when predicting the fatigue life of ship shafting//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 72

It is proposed to evaluate the fatigue life of ship shafts in the form of the sum of accumulated damage, considering each operating mode separately. Based on the adjusted hypothesis of linear summation of damage, a calculated dependence was obtained for predicting the durability of shafts. Methodological provisions are given that allow one to take into account the probabilistic nature of the acting loads and the dissipation of the strength of the material. A specific example shows how taking into account unsteady loading can reduce the design life of a shafting. Fig. 3. Bibliography 9 titles.

UDC 681.5 **Keywords:** electrochemical generator (EHG), air-independent power plant (VNEU), control system, fuel cell, automated workplace (ARM)

A.N. Dyadik, A.V. Balakin, A.V. Yushkov. Design results of an integrated automated control system for an air-independent power plant with an electrochemical generator//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 75

This article presents the results of the development of a prototype control system for an air-independent power plant with an electrochemical generator and hydrogen production from diesel fuel, designed for automated control of technical means and automatic maintenance of the operating parameters of the controlled elements of the system. The technical characteristics of the prototype are described, such as: automatic control of executive bodies, mechanisms, measurement, collection, processing of analog, encoded digital and discrete signals from information sources, presentation of current and calculated values of controlled parameters on monitors, formation of emergency warning light and sound alarms when controlled system parameters exceed permissible limits, viewing the list of commands submitted by the operator for the selected period of time, the calculation of the operating time of the controlled mechanisms, viewing the status of the monitored parameters for a selected period of time, monitoring the serviceability of equipment, communication lines, test control. Fig. 7. Bibliography 7 titles.

UDC 629.58:629.5.03 **Keywords:** hovering mode, autonomous uninhabited underwater vehicle (AUV), propulsion and steering complex (PRC), electrochemical generator (ECG), fuel cell battery (BFC), natural circulation (NC), marine (sea) water, temperature, convective heat transfer

N.S. Vakhrushina, A.N. Dyadik. Heat exchange in the energy compartment of an autonomous uninhabited underwater vehicle in the «hovering» mode//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 79

A calculation method is presented, according to which a program was written in the Mathcad-15 language and the parameters of the energy compartment with a battery of fuel cells of an autonomous uninhabited underwater vehi-

cle are calculated in the most critical mode of its use – the «hovering» mode, when the heat transferred overboard is removed due to natural circulation sea water. T.2. Fig. 4. Bibliography 4 titles.

UDC 536.1 **Keywords:** real gas, ideal gas, methane, heat capacity, adiabatic process equation, equation of state, heat engines

D.M. Kuchinsky, D.O. Glazyrina, S.A. Paimtsev, Ya.A. Boyko. Determination of the heat capacity of methane using the equation of state of a real gas //Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 83

A new method for calculating the heat capacity of gases is proposed, according to which, due to the introduction of the adiabatic index of a real gas, it is possible to explain the change in the adiabatic index during the expansion or compression of the gas. The heat capacity of methane is determined, and the results obtained are compared with the data of reference tables. Fig. 1. Bibliography 2 titles.

UDC 621.002.3 **Keywords:** hydraulic drive, hydraulic cylinder, polyamide coating, durability, mathematical model, durability parameters, experimental results

A.A. Solov'ev. The use of polyamide coatings in hydraulic cylinders of a volumetric hydraulic drive//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 85

The article is devoted to the use of polyamide PA-6/66–3 in a volumetric hydraulic drive on hydraulic cylinder pistons. The technique and equipment for determining the parameters of the durability of polyamide and the effect of fillers are given. A mathematical model is shown and the results of experimental determination of durability parameters are presented in tabular form. T. 2. Fig. 6. Bibliography 7 titles.

UDC 623.973 **Keywords:** low-frequency electromagnetic field, compensation system, electromagnetic induction, magnetic field induction meter, source of low-frequency electromagnetic field, control winding ASC, compensation winding ASC

B.Yu. Semyonov. Modification of the current control channel of shipboard systems for compensating low-frequency electromagnetic fields in order to increase noise immunity//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P.89

The electrical model of shipboard systems for compensating low-frequency electromagnetic fields with direct current control has been analyzed, and proposals have been formulated for its modification in order to increase noise immunity during setup and operation. Fig. 8.

UDC 004.891.3 **Keywords:** formalization of the subject area, design ontology, modeling of control systems, stages and life cycle of automated systems, end-to-end conceptual design system

C.M. Dotsenko, D.V. Zvezdaryov, V.V. Igumnov, I.A. Ustinov, S.V. Filippov, E.A. Ryllov, I.A. Polkovnikov. Issues of modeling and artificial intelligence in the system of end-to-end conceptual design of special-purpose control systems and complexes//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 93

An approach to a formalized description and support of the stages of creating systems and special-purpose control complexes (SKU SN) within the framework of an end-to-end conceptual design system is proposed. The purpose and objects of operation of the system are determined. Conceptual diagrams and approaches to formalizing the subject area and developing requirements are proposed that allow synthesizing a description of the functioning of the SN control system. Directions for further research have been identified. Fig. 4. Bibliography 15 titles.

UDC 621.396.4 **Keywords:** videoconferencing, videotraffic distribution, packet delivery quality, linear programming

A.V. Davydov, S.S. Popov, A.S. Popov. Changes in the volume of video traffic in transport communication network channels//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P.98

An analysis of the organization of video conferencing under conditions of changes in the transport network capacity resource was carried out. Within the framework of the linear programming problem, restrictions on network performance at the physical, link and transport levels of the open systems interaction model are taken into account and an iterative procedure for changing them is proposed, taking into account the real state of the communication network. Fig. 2. Bibliography 10 titles.

UDC 67.02 **Keywords:** special technological process, soldering, moisture protection, reliability, time to failure

V.A. Kaznacheev, M.V. Plyusnin. Special technological processes in radio-electronic equipment//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 103

The paper examines possible criteria for evaluating technological processes, the implementation of which can increase the reliability of the equipment. Examples of processes are given, the transfer of which to the special class will significantly improve the quality and reliability of products. Fig. 2. Bibliography 5 titles.

UDC 629.069 **Keywords:** fouling, protection of ship pipelines, power supply

A.K. Aristova, Yu.A. Stepanov, K.A. Smirnov. The power supply unit for anodes of the fouling protection system for pipelines of the vessels outboard systems//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 107

The article analyzes the requirements for the power supply of the anodes of the pipeline protection system against fouling. The structure is described, the technical parameters of the power supply unit for the anodes of the fouling protection system of the ship's seawater pipelines developed by JSC MNS are given. Fig. 4.

UDC 681.5.015 **Keywords:** knowledgebase, dynamic object, growing pyramidal networks, temporal knowledge base, ontology engineering, generalized descriptions

K.V. Lapshin. Method of generating generalized descriptions for temporal knowledge bases in the loop modeling of a complex dynamic object//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 109

A method for forming a knowledge base of temporal models for complex dynamic objects is proposed. The method is based on the analysis of available statistics on the process under study using a special class of distributed networks. The proposed method for formalizing reasoning in hard real-time systems provides an effective solution to problems of control, diagnostics and modeling of continuous processes. Bibliography 6 titles.

UDC 004.896, 004.384, 656.052.48 **Keywords:** fuzzy solver, decision-making system, embedded intelligent control system, microcontroller

A.E. Vasil'ev, A.V. Wegner, V.A. Karpenko, Ye. Min Htet, Htet Shine. Fuzzy-based motion control systems for small-size unmanned vessel//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 112

The article discusses approaches to the development of embedded intelligent unmanned vessel motion control systems based on fuzzy rules. Examples are given of the development of brainware for a prototype system. Fig. 4. Bibliography 40 titles.

UDC 62–50 **Keywords:** ergatic system, anthropomorphic control, model, control patterns, vessel

A.V. Saushev, V.O. Tyryva, V.I. Smirnov, A.A. Temkin. Anthropomorphic control in the ergatic system «navigator-ship»//Morskoy Vestnik. 2024. No. 2 (90). P. 116

The problem of designing joint control of the movement of a vessel in the ergatic system «navigator-vessel» is considered. In order to unify the anthropomorphic control of the vessel's movement at the levels of target designation and planning, it is proposed to use templates from several discrete control signals. T.2. Fig. 2. Bibliography 16 titles.