Moperou

№4(88) декабрь 2 0 2 3

Вестник

Morskoy Vestnik

Чугунно-мъдно-литейный, Механическій и Арматурный



динамо машины.

АККУМУЛЯТОРЫ Тел.: + 7 812 603 4077

market@armalit.ru, www.armalit.ru



ВВЕДЕНИЕ

соответствии с Директивами по цифровой трансформации от 14 апреля 2021 г. №3438п-П13 AO «Объединенная судостроительная корпорация» (далее – ОСК или холдинг), разработало и утвердило Стратегию цифровой трансформации (далее – Стратегия) [1]. В рамках этой Стратегии в отрасли реализуется особо значимый проект «Доработка и внедрение отечественной судостроительной САПР тяжелого класса как среды проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства», выполняемый в рамках Соглашения о предоставлении гранта, заключенного между Российским фондом развития информационных технологий и АО «ОСК» (далее - особо значимый проект или ИТ-проект).

Техническим заданием на особо значимый проект предусмотрено в том числе формирование информационных и 3D-моделей:

- судовых устройств и дельных вещей;
- оборудования помещений и палуб;
- предметов снабжения.

Целью настоящей статьи являются формулирование определения понятия «цифровая информационная модель изделия судостроения», а также освещение вопросов формирования и применения цифровой информационной модели изделия судостроения в этапах жизненного цикла (далее – ЖЦ).

Обзор существующих в отечественной научно-технической документации определений понятий «информационная модель», «информационная модель объекта»

На сегодняшний день в актуальной нормативно-технической документации (НТД) закреплено несколько определений терминов «информационная модель», «информационная модель объекта» и др.:

- информационная модель модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде совокупности элементов данных и отношений между ними [2];
- информационная модель объекта (BIM) объектно-ориентированная параметрическая 3D-модель, представляющая в цифровом виде физические, функциональные и прочие характеристики объекта (или его отдельных частей) в виде совокупности информационно насыщенных элементов. Создается для решения конкретных прикладных задач проекта [3, 4];
- информационная модель объекта строительства – совокупность представленных в электронном виде документов, графических и негра-

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ, ФОРМИРОВАНИИ И ПРИМЕНЕНИИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ СУДОСТРОЕНИЯ

М.В.Вихлянов, руководитель проекта, АО «Объединенная судостроительная корпорация», контакт. тел. 8 (495) 727 3052, VikhlyanovM@aoosk.ru

фических данных об объекте строительства, размещаемая в соответствии с установленными правилами в среде общих данных, представляющая собой единый достоверный источник информации об объекте на всех или отдельных стадиях его жизненного цикла [3];

цифровая модель изделия – система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям [5].

Представляет интерес градация ВІМ, предложенная в [4]:

- ВІМ 3D пространственная ВІМмодель; в контексте информационного моделирования означает представление объекта в трех измерениях (в координатах X, Y и Z),
- ВІМ 4D ВІМ-модель, разработанная посредством добавления в пространственную 3D-модель временного измерения,
- ВІМ 5D ВІМ-модель, разработанная посредством добавления в 4Dмодель (или 3D-модель) информации о затратах,
- ВІМ 6D ВІМ-модель, разработанная посредством добавления в 5D-модель (4D- или 3D-модель) информации об эксплуатации объекта.

Отдельно от национальной НТД существует представление информационной модели об объекте в формате 6D+(далее по тексту – информационная модель 6D+), принятое и описанное в положениях госкорпорации «Росатом», подразумевающее всестороннее описание объекта, собранное в единую модель данных, совмещая в себе:

- геометрическую 3D-модель;
- время;
- ресурсы, необходимые для выполнения каких-либо операций;
- оборудование, необходимое для

производства (или) постройки объекта

Анализ приведенных определений позволяет сделать вывод о следующем:

- национальная система стандартов различает понятия «информационная модель» и «информационная модель объекта»;
- понятие «информационная модель объекта» содержит в том числе представление конкретной отрасли о совокупности характеристик объекта как едином достоверном источнике информации по объекту на всех или отдельных стадиях его жизненного цикла, т.е. отражает особенности отраслевой специфики описания объекта;
- перспективное представление понятия «информационная модель объекта» подразумевает всестороннее описание объекта в формате 6D+.

Сделанные выводы позволили сформулировать определение понятия «информационная модель изделия судостроения».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЕ «ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИЗДЕЛИЯ СУДОСТРОЕНИЯ»

Для определения границы предметной области термина «информационная модель изделия судостроения» и в связи с тем, что понятие «изделие судостроения» (далее – ИС) не имеет однозначного определения в отраслевой НТД, автором предложена следующая формулировка: изделие судостроения – суда, морские нефтегазопромысловые сооружения, подводные аппараты, другие плавучие сооружения, а также их составные части.

Предлагаемая редакция определения позволяет охватить всю предметную область судостроения и связать понятия стандартизированной терминологии [6]*:

Представляя объекты подкласса 361 и объекты подкласса 362 [7] как объекты

* В судостроении широко используется понятие «объект морской техники» (ОМТ), но, поскольку данное понятие и определение его не введены официально в отраслевую НТД, в настоящей статье понятие ОМТ не используется.

Продолжение см. на стр. 6



Редакционный 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 AO «НПФ «Меридиан» А.А. Веселов, генеральный директор АО «Адмиралтейские верфи» 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 AO «СПМБМ «Малахит» В.В. Дударенко, генеральный директор 000 «Судпромкомплект» М.В.Захаров, генеральный директор 000 «Пумори-северо-запад» С.Н. Ирютин, председатель Санкт-Петербургского Морского Собрания М.В. Исполов, директор ЗАО «ЦНИИ СМ» **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» **И.Е. Маренич,** генеральный директор АО «Ситроникс КТ» Г.Н. Муру, генеральный директор АО «51 ЦКТИС» И.М. Мухутдинов, генеральный директор ПАО «СФ «Алмаз» О.А. Остапко, генеральный директор АО «Северное ПКБ» А.А. Павлов, генеральный директор . АО «НТИ «Радиосвязь» Д.А. Посадов, врио генерального директора АО КБ «Вымпел» **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. Щербаков,** генеральный директор

000 ПКБ «Петробалт»

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

| М.В.Вихлянов . Об определении, формировании и применении цифровой информационной модели изделия судостроения |
|---|
| А.Л. Ивченко, Д.Е. Цымляков . Катер огневой поддержки проекта 1238 «Косатка» |
| Ю.В. Баглюк, М.Н. Ещенко, А.А. Коржов . О развитии проектов малых научно-исследовательских судов |
| С.Г. Черный, А.С. Соболев, Н.И. Черная, П.А. Ерофеев. Современные тенденции энергосбережения в морской индустрии |
| В.Г.Данилова. Автоматизированный расчет параметров автономного необитаемого подводного аппарата при его проектировании |
| А.В.Юрканский, И.И.Ремизов . Об особенностях изменения тяги носовых подруливающих устройств подводных аппаратов |
| Памяти А.И. Гайковича |
| И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В.В. Тарановский. Технология ремонта корпусных конструкций кораблей, катеров и вспомогательных судов ВМФ с применением биметаллических |
| В.В. Тарановский. Технология ремонта корпусных конструкций кораблей, |
| катеров и вспомогательных суоов БМ Ψ с применением оиметаллических материалов |
| С.А. Шиляев, Г.В. Федотов, М.Ю. Солеев . Судоподъемный комплекс как элемент обеспечения безопасности Арктического региона |
| В.П.Лянзберг, Н.М.Вихров. К определению параметров обоймы иллюминаторов высокого давления со стеклоэлементом в форме диска |
| Т.М. Григорьев . Оценка возможности применения искусственных нейронных сетей как инструментов адаптивного управления при создании технологического процесса |
| СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ С. П. Столяров, А. С. Столяров, А. В. Пролеева, О. М. Фёдорова. О векторо |
| развития корабельных энергетических установок В.В.Камлюк, И.О.Прутчиков, И.В.Гречушкин. Повышение |
| в. Б. Камлюк, И. О. Прутчиков, И. Б. Гречушкин. Повышение эффективности работы силовых установок на основе автоматизации управления режимами их функционирования |
| Ю.А. Лебедев, С.И. Писарьков . Особенности применения судовых кранов-манипуляторов |
| Н.А. Кудла, А.В. Бураков, Р.Р. Хотский. Создание перспективного компрессора для судовых холодильных установок |
| В.Н.Грачёв, Б.Ю. Семёнов . Технические аспекты использования локальных электромагнитных компенсаторов в корабельных системах компенсации низкочастотных электромагнитных полей |
| А.А. Халявкин, В.А. Гордон, Д.О. Шацков, А.В. Ивановская. О влиянии износа кормового дейдвудного подшипника судового валопровода на его рабочее состояние |



| А. Н. Дядик, А. В. Юшков. Расчетное определение параметров топливной ячейки электрохимического генератора |
|---|
| В. В. Кожемякин, Ю. И. Раевская, Д. П. Левша, Н. А. Морозов . Влияние режимных параметров на статические характеристики двигательнодвижительного инжектора |
| ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ |
| И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ |
| А.Г. Боярский, Д.И. Кузнецов, А.О. Мадатян. 90-летняя история развития факультета морского приборостроения СПбГМТУ71 |
| В.Д. Пашкевич, В.М. Голубев, А.А. Павлов, С.В. Русин, Я.А. Демидов. О методах разработки антенных систем кв диапазона. Часть 1 |
| Е.И. Глушанков, С.А. Митянин, Е.А. Рылов . Анализ эффективности применения помехоустойчивого кодирования и многопозиционных сигналов в линиях радиосвязи систем автономного судовождения |
| Ю.О. Батурин, А.А. Саватюгин. Повышение эффективности коротковолновой связи за счет применения методов оперативного прогнозирования распространения радиоволн |
| Д.В. Васильева, С.А. Якушенко, С.С. Дворников, А.А. Погорелов, С.В. Дворников. Обнаружение морских дронов в оптическом диапазоне90 |
| |
| ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ С. Н. Сурин, Б. В. Грек. Опыт разработки интеллектуальных систем |
| СИСТЕМЫ С. Н. Сурин, Б. В. Грек . Опыт разработки интеллектуальных систем управления корабельными ЯЭУ |
| СИСТЕМЫ С. Н. Сурин, Б. В. Грек . Опыт разработки интеллектуальных систем управления корабельными ЯЭУ |
| С.Н. Сурин, Б.В. Грек. Опыт разработки интеллектуальных систем управления корабельными ЯЭУ |
| С.Н. Сурин, Б.В. Грек. Опыт разработки интеллектуальных систем управления корабельными ЯЭУ |
| С.Н. Сурин, Б.В. Грек. Опыт разработки интеллектуальных систем управления корабельными ЯЭУ |
| С.Н. Сурин, Б.В. Грек. Опыт разработки интеллектуальных систем управления корабельными ЯЭУ |
| С.Н. Сурин, Б.В. Грек. Опыт разработки интеллектуальных систем управления корабельными ЯЭУ |
| С. Н. Сурин, Б. В. Грек. Опыт разработки интеллектуальных систем управления корабельными ЯЭУ |

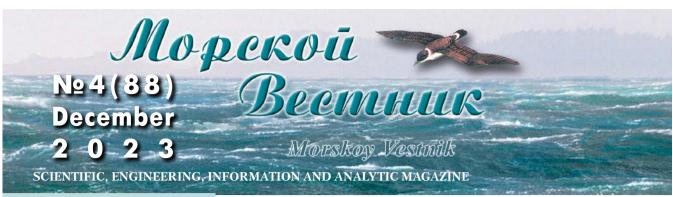
Главный редактор Э.А. Конов, канд. техн. наук Зам. главного редактора Д.С. Глухов (812) 6004586 (812) 6004586 Тел.: Факс: E-mail: morvest@gmail.com www. morvest. ru Редакционная коллегия Г.Н. Антонов, д-р. техн. наук, доцент В.В. Барановский, д-р техн. наук, проф. [А.И. Гайкович], д-р. техн. наук, проф. 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. РАРАН 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. **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 лурныя здрагирурования и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12047 от 11 марта 2002 г. Учредитель-издатель 000 Издательство «Мор Вест», 190068, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н Электронная версия журнала размещена на сайте 000 «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. на синскание ученой степени доктора и кандидата но 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 Парвский пр., д. 10 Лиг. А Тираж 300 экз. Заказ № 1908 Дата выхода в свет – 11.12.2023. 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

ISC NPO 7avod 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

V.Yu. Dorofeev, General Director

JSC SPMDB Malachite

V.V. Dudarenko, General Director

JSC Sudpromkomplekt

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

M.V. Ispolov, Director JSC CRIME

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.E. Marenich, General Director

JSC Sitronics KT

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

D.A. Posadov, Acting General Director JSC DB Vympel

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

A.A. Veselov, General Director

JSC Admiralty Shipyards

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

M.V. Zakharov, General Director

JSC Pumori-north-west

ABSTRACTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

| M. V. Vikhlyanov. On the definition, formation and application of a digital information model of a shipbuilding product | 1 |
|---|------|
| A.L. Ivchenko, D.E. Tsymlyakov. Project 1238 fire support boat «Kosatka» | . 11 |
| Yu. V. Baglyuk, M. N. Eshchenko, A. A. Korzhov. On the development of small research vessel projects | . 14 |
| S. G. Cherny, A. S. Sobolev, N. I. Chernaya, P. A. Erofeev. Modern trends in energy saving in the marine industry | . 16 |
| V. G. Danilova. Automated calculation of the parameters of an autonomous uninhabited underwater vehicle during its design | . 20 |
| A. V. Yurkansky, I.I. Remizov. On the peculiarities of changing the thrust of bow thrusters of underwater vehicles | . 22 |
| In memory of A.I. Gaikovich | . 24 |
| TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGAN SATION OF SHIPBUILDING V. V. Taranovsky. Technology for repairing hull structures of ships, boats and auxiliary vessels of the Navy using bimetallic materials | |
| S.A. Shilyaev, G. V. Fedotov, M.Yu. Soleev. Ship-lifting complex as an element of ensuring the security of the Arctic region | |
| V.P. Lyansberg, N.M. Vikhrov. To determine the parameters of the frame of high-pressure windows with a glass element in the shape of a disk | . 34 |
| T.M. Grigoriev. Assessing the possibility of using artificial neural networks as adaptive control tools when creating a technological process | . 39 |
| SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS | |
| S. P. Stolyarov, A. S. Stolyarov, A. V. Proleeva, O. M. Fedorov. On the vector of development of ship power plants | . 40 |
| V. V. Kamlyuk, I. O. Prutchikov, I. V. Grechushkin. Increasing the efficiency of power plants based on automation of control of their operating modes | . 45 |
| Yu.A. Lebedev, S.I. Pisar'kov. Features of the use of ship cranes | . 49 |
| N.A. Kudla, A. V. Burakov, R. R. Khotsky. Creation of a promising compressor for ship refrigeration units | . 51 |
| V. N. Grachyov, B. Yu. Semyonov. Technical aspects of the use of local electromagnetic compensators in ship systems for compensating low-frequency electromagnetic fields | . 57 |
| A.A. Khalyavkin, V.A. Gordon, D.O. Shatskov, A.V. Ivanovskaya. On the influence of wear on the stern tube bearing of a ship shafting on its performance condition | . 61 |
| A. N. Dyadik, A. V. Yushkov. Calculated determination of the parameters | 64 |



V. V. Kozhemyakin, Yu. I. Raevskaya, D. P. Levsha, N. A. Morozov, The influence DESIGN AND TECHNOLOGY OF INSTRUMENT MAKING AND RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT A. G. Boyarsky, D. I. Kuznetsov, A. O. Madatyan. 90-year history of the development of the Faculty of Marine Instrumentation of SPbSMTU......71 V. D. Pashkevich, V. M. Golubev, A. A. Pavlov, S. V. Rusin, Ya. A. Demidov. On methods for developing HF antenna systems. Part 1.......77 E.I. Glushankov, S.A. Mityanin, E.A. Rylov. Analysis of the effectiveness of using noise-resistant coding and multi-position signals in radio communication lines of autonomous navigation systems81 Yu. O. Baturin, A. A. Savatyugin. Increasing the efficiency of shortwave communications through the use of methods for operational forecasting of radio wave propagation83 D. V. Vasil'yeva, S.A. Yakushenko, S.S. Dvornikov, A.A. Pogorelov, S. V. Dvornikov. Detection of sea drones in the optical range90 **INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS** S. N. Surin, B. V. Grek. Experience in developing intelligent control systems K. V. Lapshin. Features of control and assessment of the condition of technical control equipment for an uncrewed boat..... A.A. Gorbachev, A.A. Ivanov, E.V. Sal'nikov. Analysis of the structural and functional integrity of a transport nuclear power plant with a liquid metal coolant using the IDEFO functional modeling standard.......103 P.K. Smirnov, D.N. Mosichkin, V.V. Potekhin, E.I. Karaseva. The art of robotics: design and control of manipulators.......107 V. V. Efimov. Mathematical models for simulating video signals of navigation radars......111 THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET G.A. Grebenshchikova, V.S. Nikitin, V.N. Ilyukhin. The role and significance of the expedition of special underwater works in the development of ship-lifting, diving and rescue business in Russia. To the 100th anniversary of EPRON. Part 3...... 116 In memory of P.A. Shaub.......119 D.N. Kopelev. «Our longevity is not reliable»: did Peter the Great have a program of expansion in the World Ocean?......125

Editor-in-Chief E.A. Konov, Ph. D Deputy Editor-in-Chief D.S. Glukhov Phone: +7 (812) 6004586 +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. A.I. Gaikovich, 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. V.N. 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. 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 Sertificate 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 electronnaya 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 ΠΜ 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 300 . Order № 1908 Publication date – 11.12. 2023 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

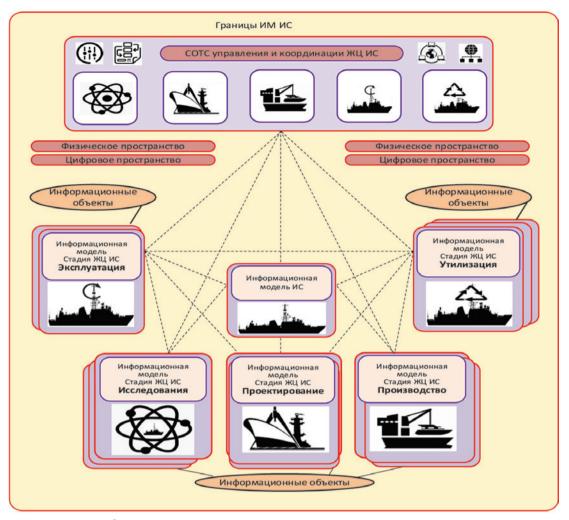


Рис. 1. Информационная модель ЖЦ ИС. Структура и связи

предметной области ИС и определив на основании [8], что объекты подкласса 361 являются сложными организационно-техническими системами, а объекты подкласса 362 — функциональными системами [9], можно сформулировать следующее:

- информационная модель ИС есть информационная модель сложной организационно-технической системы;
- информационная модель ИС относится к информационной модели формата 6D+;
- информационная модель ИС создается на основании существующих классификаторов, т.е. включает в себя электронную структуру изделия (ЭСИ) (совокупность ЭСИ) [10];
- информационная модель ИС содержит представление о совокупности характеристик объекта как едином достоверном источнике информации по ИС на всех или отдельных стадиях его жизненного цикла, т.е. отражает особенности отраслевой специфики описания объекта.

На основании изложенного, а также с учетом [3, 4, 8] предлагается следующее определение: цифровая информационная модель ИС — это комплексная комбинированная формально-описательная модель данных, в которой сведения о моделируемом ИС для стадий ЖЦ представлены в виде совокупности элементов данных и отношений между ними в составе:

- цифровой объектно-ориентированной параметрической ЗD-модели ИС (СЧ ИС) [11],
- связанных ЭСИ (функциональной, конструктивной, производственнотехнологической, физической, эксплуатационной) [10],
- информационных наборов (ИН) [10], информационных объектов (ИО) [10], данных и атрибутов [10], обеспечивающих реализацию стадий и этапов ЖЦ ИС (СЧ ИС).

Вопрос рациональности градации информационной модели (ИМ) ИС в соответствии с [4] в настоящей статье отдельно не исследуется, поскольку обеспечение реализации стадий и этапов ЖЦ ИС (СЧ ИС) автоматически предусматривает градацию.

СТРУКТУРА ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ИС (СЧ ИС)

По аналогии с [4], ИМ ИС (СЧ ИС) является цифровым отображением совокупности характеристик ИС (СЧ ИС) как едином достоверном источнике информации о ИС (СЧ ИС) на всех или отдельных стадиях его жизненного цикла с отражением отраслевой специфики описания объекта (рис. 1).

В соответствии с рис. 1, структура информационной модели ИС должна содержать цифровое отображение (раздельное и в совокупности) информационных наборов, информационных объектов, данных и атрибутов, обеспечивающих реализацию стадий и этапов ЖЦ ИС (СЧ ИС) в соответствии с требованиями отраслевой НТД.

Предлагаемый состав информационных наборов и информационных объектов ИМ ИС «танкер» для стадий ЖЦ ИС приведен на рис. 2. В качестве структуры ИМ использованы объединенная структурная модель и укрупненная структура ИМ, приведенная в [8,12]. Состав информационных объектов в ин-

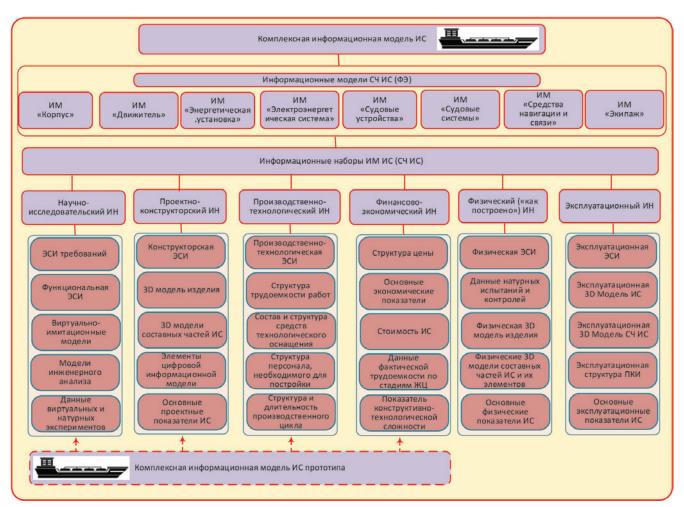


Рис. 2. Предлагаемый состав информационных наборов и информационных объектов ИМ ИС «танкер» для стадий ЖЦ ИС «проектирование», «производство»

формационных наборах приведен в соответствии с определением ИМ ИС (СЧ ИС), предложенным автором.

Состав атрибутов для описания функционального элемента цифровой информационной модели СЧ ИС

В настоящее время состав атрибутов

функционального элемента цифровой информационной 3D-модели объекта установлен в [4]. Откорректированный состав атрибутов приведен в табл. 1.

Состав атрибутов функционального элемента цифровой информационной 4D-модели объекта (производственно-

технологический ИН) применительно к изделию судостроения приведен в табл. 2.

Состав атрибутов элемента цифровой информационной 5D- и 6D-модели объекта применительно к изделию судостроения формируются аналогично составу атрибутов для моделей 3D- и 4D-.

Таблица 1

Состав атрибутов для описания функционального элемента (далее –элемент) цифровой информационной 3D-модели СЧ ИС

| Атрибут элемента ИМ | Расшифровка требований для элементов информационной модели |
|-----------------------------|--|
| Индивидуальный код элемента | Указан код (номер) элемента в соответствии с КД |
| Группа/подгруппа/вид | Указана код группы/подгруппы/вида в соответствии с Классификатором ЕСКД, класс 36 «Суда. Судовое оборудование», однозначно определяющий принадлежность элемента к группе/подгруппе/виду ¹ |
| Код элемента нагрузки | Указан раздел, группа, подгруппа, статья, подстатья и т.д.) |
| Тип (класс) | Необходимость разделения компонентов по типам использования (отнесения к классу объектов, имеющих одинаковые характеристики [13]) |
| Внешний образ/вид | Позволяет визуально идентифицировать тип компонента в реальности |
| Условный габарит | В процессе развития модели компонент может уточнить свой габарит |
| Точный габарит | Габарит соответствует фактическим размерам компонента, включая сечение и профиль для элементов фасада |
| Macca | Масса соответствует расчетному значению или данным паспорта (для ПКИ) |
| Иерархическое положение | Указано положение элемента в ЭСИ |
| Условное положение | Указано примерное положение элемента |
| Точное положение | Положение соответствует физическому положению |
| Структура конструкции | Составляющие компонента определены |
| Материал | Материал точно определён |

Состав атрибутов для описания функционального элемента (далее –элемент) цифровой информационной 3D-модели СЧ ИС

| Just been mit of minding men of 1110 | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| Атрибут элемента ИМ | Расшифровка требований для элементов информационной модели | | | | | |
| Наименование | Имеет наименование для идентификации и специфицирования | | | | | |
| Маркировка | Имеет маркировку для идентификации и специфицирования | | | | | |
| Геометрические характерис- тики | Указаны определяющие элемент геометрические характеристики в соответствии с типоразмером. Например, для воздуховодов должны быть заполнена высота/ширина/длина/толщина | | | | | |
| Пространственное положение | Набор атрибутов, указывающий на расположение элементов в проекте – зону, здание или сооружение, этаж (при наличии) | | | | | |
| Сечение/профиль | У элемента указаны наименование профиля (при наличии), основные геометрические характеристики сечения/профиля | | | | | |
| ТТЗ, ГОСТ, ТУ | У элемента указан ТТЗ/ГОСТ / ТУ | | | | | |
| Назначение системы | У элемента указано, к какой системе он относится | | | | | |
| Требования к элементу | Требования к элементу в соответствии со структурой требований. | | | | | |
| Функциональное назначение | Функции элемента в соответствии с функциональной ЭСИ | | | | | |
| Маркировка | Имеет маркировку для идентификации и специфицирования | | | | | |
| Стойкость к внешним воздейс- твующим факторам | Стойкость к внешним воздействующим факторам точно определена | | | | | |

Таблица 2 Предлагаемый состав атрибутов для описания функционального элемента цифровой информационной модели

| Атрибут элемента ИМ | Расшифровка требований для элементов информационной модели | | | | |
|--|---|--|--|--|--|
| Группа/подгруппа/вид | Указана код группы/подгруппы/вида в соответствии с Классификатором ЕСКД, класс 36 «Суда, Судовое оборудование», однозначно определяющий принадлежность элемента к группе/подгруппе/виду | | | | |
| Код элемента нагрузки | Указан раздел, группа, подгруппа, статья, подстатья и т.д.) | | | | |
| Тип элемента | Указан признак типа, однозначно определяющий элемент, как типовой объект в составе ИС (СЧ ИС | | | | |
| Индивидуальный код элемента | Указан код (номер) элемента в соответствии с КД | | | | |
| Вид производства верфи | Указан вид производства (виды производств) верфи, связанный (связанные) с типовым элементом (ТЭ) через признак типа. | | | | |
| Типовая структура ПУЕ | Указана структура ПУЕ, связанная с ТЭ через признак типа элемента | | | | |
| Типовая структура контрольных событий с привязкой к технической готовности | Приведена структура контрольных событий с привязкой к этапам (подэтапам) по видам прои водств верфи, связанная со структурой ПУЕ через признак типа элемента | | | | |
| Структура производственных подразделений верфи | Приведена структура производственных подразделений верфи, связанная со структурой ПУЕ ТЭ через признак типа элемента | | | | |
| Типовой технологический процесс (или) типовые технологические процессы | Указан типовой технологический процесс (ТП) (или) типовые ТП по видам производств, связанные с ПУЕ через признак типа элемента | | | | |
| Индивидуальный технологический процесс (или) индивидуальные технологические процессы | Указан типовой технологический процесс (ТП) (или) типовые ТП по видам производств, связанные с ПУЕ через признак элемента | | | | |
| Основное технологическое оборудование | Указано технологическое оборудование по видам работ, связанное со структурой работ через признак типа элемента | | | | |
| Средства технологического оснащения | Указаны средства технологического оснащения по видам производств, связанные с типовым ТП через признак типа элемента | | | | |
| Структура производственного персонала | Приведена структура производственного персонала, связанная со структурой ПУЕ через признак типа элемента | | | | |
| Структура трудоемкости по видам работ | Приведена структура трудоемкости по видам производств верфи, связанная со структурой ПУЕ через признак типа элемента | | | | |
| ГОСТ. ТУ | Приведены ГОСТ, ТУ | | | | |

ЗАДАЧИ ЖЦ ИС, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ИС

В качестве задач, решаемых с помощью ИМ ИС, в настоящей статье рассматриваются задачи стадий «проектирование», «производство» головного заказа. При определении состава задач рассматривался существующий задел других отраслей, изложенный в нормативных документах и публикациях [4].

Основными задачами, решаемые с помощью ИМ ИС на стадии ЖЦ ИС «проектирование», являются:

- сокращение сроков проектирования за счет конструктивно-технологической преемственности решений и наследования данных предыдущих проектов при проектировании новых заказов кораблей (судов);
- обеспечение процедуры автоматизированного поиска (или) формирования цифрового прототипа для

- новых заказов кораблей (судов);
- управление требованиями (структура требований);
- управление функциями (функциональная структура, связанная с требованиями);
- задачи, решаемые с помощью виртуально-имитационного моделирования;
- задачи инженерного анализа;
- пространственная междисциплинарная координация и выявление коллизий:

- поиск, анализ и устранение геометрических пересечений элементов молели.
- поиск, анализ и устранение нарушений нормируемых расстояний между элементами модели.

Основными задачами, которык решаются с помощью ИМ ИС ЖЦ ИС на стадии «производство», являются:

- анализ и оптимизация последовательности выполнения работ при строительстве корабля;
- поиск пространственно-временных пересечений, которые могут возникнуть в процессе строительных работ;
- разработка комплексного укрупненного сетевого графика и графика производства работ, оптимизированных с позиции целевых установок проекта;
- координация работ по строительству корабля с графиком поставки оборудования;
- оптимизации численности персонала:
- анализ текущего состояния графика постройки корабля и выработки компенсирующих мероприятий;
- сокращение сроков постройки за счет конструктивно-технологической преемственности решений и наследования данных предыдущих проектов при проектировании и постройке новых заказов кораблей (судов).

Состав задач, решаемых с помощью информационной модели ЖЦ ИС на стадии «эксплуатация», в настоящей статье не приводится в связи со значительным дублированием их с составом задач, решаемых на стадиях «проектирование» и «производство».

Применение данных цифровой информационной модели при решении задачи определения прототипа ИС проекта головного судна

Задача поиска (или) синтеза частного или комплексного прототипа при проектировании корабля в настоящее время решается с помощью специального программного обеспечения иностранного производства. В

рамках реализации особо значимого проекта решение задачи поиска (или) синтеза прототипа должно быть предусмотрено и реализовано в создаваемой САПР.

Рассмотрим возможность использования ИМ ИС для определения комплексного или частного прототипа или для синтеза комплексного прототипа на основании частных прототипов.

В работах [12, 14, 15, 16] достаточно подробно описана методология синтеза прототипа корабля на основании применения методов математической статистики и построения регрессий переменных данных.

С точки зрения получения оптимального варианта прототипа корабля с использованием программного обеспечения (или) методов искусственного интеллекта наиболее предпочтителен метод определения прототипа [12] на основе структурной декомпозиции корабля на функциональные элементы (ФЭ), функционально-структурной модели ИС и реализации адаптивнодинамичного подхода к постановке и решению задачи.

Метод предполагает выполнение структурной декомпозиции ИС на ФЭ, анализа ФЭ и синтеза прототипа. В основе метода лежит формирование необходимого и достаточного набора требований к ИС, при выполнении которого он будет иметь ожидаемую эффективность. В общем случае набор требований записывается в виде [12]

$$x_i^* \le x_i^G \le x_i^{**}, i = 1, 2, ..., n^G;$$
 (1)

$$x_{i}^{*} \le x_{j}^{D} \le x_{i}^{**}, i = 1, 2, ..., n^{D},$$
 (2)

где x_i^G , x_j^D — проектные характеристики ИС; x_i , x_i^* и x_j^* , x_j^* — заданные пределы изменения проектных характеристик; x_i^G включает описание основных требований, предъявляемых к проектируемому объекту и вытекающих из его назначения; x_j^D включает описание дополнительных требований, которые зависят от функционально-структурной модели, принципа действия, окружающей среды и т.п.

Множество решений, удовлетворяющих ограничениям

$$C = \{ \{ (x_i^* \le x_i^G \le x_i^{**}), (x_i^* \le x_i^D \le x_i^{**}) \}. (3)$$

Рассматривая основные характеристики ИМ ИС, исходя из предложенного определения, такие как объектно-ориентированная параметрическая; иерархическая, включающая в себя иерархические ЭСИ (требований, функциональную, конструктивную, производственно-технологическую, физическую, эксплуатационную); связанная, а также состав информационных наборов (см. рис. 1) и состав атрибутов ФЭ (табл. 1 и табл. 2), можно сделать следующие выводы:

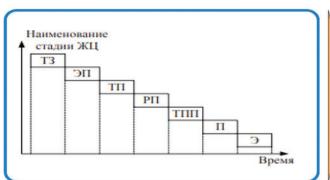
- состав информационных наборов ИМ ИС обеспечивает поиск, анализ и синтез прототипа в соответствии с [13];
- ИМ ИС обеспечивает любой уровень структурной декомпозиции, в том числе декомпозицию объектов: требования, функции, ФЭ, финансовоэкономические показатели;
- ИМ ИС обеспечивает реализацию параметрического формирования прототипа на основании изменения объектов с отражением изменения функций и требований (реинжиниринг) за счет связей ФЭ с требованиями и функциями;

ИМ ИС обеспечивает оценку ФЭП проекта относительно прототипа за счет связей объектов ИМ с ФЭП:

Математическое и организационное обеспечение САПР позволяет эффективно реализовать задачу формирования прототипа на основании применения математической статистики и реализации адаптивно-динамичного подхода к постановке и решению оптимизационной задачи.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В ЗАДАЧАХ СОКРАЩЕНИЯ СРОКОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОСТРОЙКИ

Применение ИМ в задачах сокращения сроков проектирования и постройки определено возможностями:



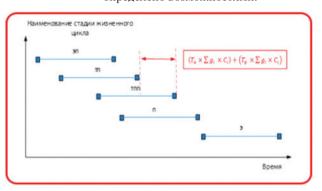


Рис. 3. Влияние конструктивно-технологической преемственности проектных решений и наследования данных предыдущих проектов на сокращение длительности стадий «проектирование», «производство» ЖЦ проекта ИС

- быстрого поиска решений конструктивно-технологической преемственности и наследования данных предыдущих проектов при проектировании и постройке новых заказов кораблей (судов);
- обеспечения процедуры автоматизированного поиска (или) формирования цифрового прототипа для новых заказов кораблей (судов).

На рис. З показано изменение каскадной модели ЖЦ ИС строительства корабля на стадиях «проектирование» и «постройка» в результате конструктивно-технологической преемственности решений и наследования данных предыдущих проектов при проектировании и постройке новых заказов кораблей (судов) [17, 18].

Экономический эффект конструктивно-технологической преемственности проектных решений и наследования данных предыдущих проектов при проектировании и подготовке производства определяется по формуле

$$\Im\Pi = C - C_u$$

где C — базовая стоимость проектирования нового заказа; $C_{_{\rm H}}$ — стоимость проектирования наследованных решений [19].

выводы

Предложены обоснованное определение понятия «цифровая информационная модель изделия судостроения» и состав атрибутов элементов ИМ для стадий ЖЦ «проектирование», «производство» и требования для элементов информационной модели.

Приведен состав задач для стадий ЖЦ «проектирование», «производство», решаемых с помощью информационной модели ИС формирования и применения цифровой информационной модели изделия судостроения на этапах жизненного цикла.

Показан экономический эффект и сокращение длительности стадий «про-

ектирование», «производство» ЖЦ проекта ИС от применения цифровой информационной модели на при решении задач проектирования и постройки проекта головного судна.

ЛИТЕРАТУРА

- Стратегия цифровой трансформации АО «Объединенная судостроительная корпорация» до 2030 года.
- 2. ГОСТ Р 57700.21—2020. Компьютерное моделирование в процессах разработки, производства и обеспечения эксплуатации изделий. Термины и определения. М.:Стандартинформ, 2020. 12 с.
- ГОСТ Р 57563-2017/ISO/TS 12911:201.12. Моделирование информационное в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. – М.:Стандартинформ, 2017. – 33 с.
- Руководство по информационному моделированию (ВІМ) для заказчиков на примере промышленных объектов. – М., 2019 – 100 с
- ГОСТ Р 57700.37—2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения – М.: Российский институт стандартизации, 2021. –15 с.
- Стандартизированная терминология в судостроении: Справ. – СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2020.—336 с.
- 7. Классификатор ЕСКД. Класс 36 Суда, судовое оборудование
- Богданов А.Е., Вихлянов М.В., Филиппов П.В. К вопросу решения задач управления жизненным циклом объектов морской техники как конструктивно-технологических платформ и их конфигураций//Судостроение. – 2022. – №3. – С. 15–22.
- 9. ГОСТ Р 58908.12—2020 (ИСО 81346-12:2018). Промышленные системы, установки, оборудование и промышленная продукция. Принципы структурирования и коды. – Ч. 12: Объекты

- капитального строительства и системы инженерно-технического обеспечения. М.:Стандартинформ, 2020. 54 с.
- ГОСТ 2.053-2013. Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения. М.:Стандартинформ, 2019. 12 с.
- ГОСТ 2.052-2015. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.

 М.:Стандартинформ, 2019. 14 с.
- 12. ГОСТ Р 58908.1—2020. Промышленные системы, установки, оборудование и промышленная продукция. Принципы структурирования и коды. Ч. 1: Основные правила. М.:Стандартинформ, 2020. 77 с.
- Разуваев В. Н. Методология проектного эвристико-динамичного анализа и синтеза концепции объектов морской техники. Специальность 05.08.03 - проектирование и конструкция судов. – Дисс. на соискание уч. степени д-а техни. наук. – СПб.: СПбГМТУ, 2020. – 304 с.
- 14. Захаров И.Г. Теория принятия компромиссных решений при исследовательском проектировании кораблей. СПб.: Изд. 1 ЦНИИ МО РФ, 2004. 215 с.
- Захаров И.Г., Постонен С.И., Романьков В.И. Теория проектирования надводных кораблей:. – СПб.: Изд.ВМА, 1997. – 678 с.
- 16. Беликов С.С. Способ определения состава судов обеспечения вспомогательного флота по экономическим показателям эксплуатации//Морские интеллектуальные технологии. 2019. Т.2. № 2 (44). С.22–27.
- Вихлянов М.В. К вопросу типизации объектов в судостроении как элементов конструктивно-технологических платформ и их конфигураций//Судостроение. 2022. –№1. С. 13–19.
- Махитько В. П., Сироткина И. Б., Шумиук Р. Н. Формирование трудоемкости изготовления изделий при изменениях конфигурации // Изв.Самарского науч. центра РАН. – . 2009. – С. 477–484.
- 19. *Кравченко А. Н.* Принципы формирования экономического эффекта типизации проектных решений объектов нефтегазового назначения // Вестник Волгоградского гос. ун-та: Экономика. 2021. Т. 23. №4. С. 103–112. DOI: https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2021.4.8. ■

ак известно, наша граница с Китай-ской Народной Республикой более чем на 1000 км тянется по р. Амур. В конце 1960-х и начале 1970-х гг. в связи с возникшей напряженностью в отношениях между Советским Союзом и КНР был значительно усилен состав Краснознаменной Амурской флотилии. Он пополнился бронекатерами «Шмель» (пр. 1204), которых было построено более 80 ед., и малыми артиллерийскими кораблями «Слепень» (пр. 1208) в количестве 10 ед. Оба этих проекта были разработаны в ЦМКБ «Алмаз», однако затем в связи с перераспределением функций между проектными организациями они были переданы Зеленодольскому ПКБ.

Кроме этих кораблей в состав Краснознаменной Амурской флотилии были включены 6 десантно-штурмовых катеров на воздушной подушке «Скат» (пр. 1205), которые очень хорошо проявили себя в условиях реки с ее заводями, плавнями, а также во время ледостава и ледохода. В 1975 г. ВМФ СССР в связи с сохранением напряженности в отношениях с Китаем были одновременно выданы задания на проектирование бронекатера «Москит» (пр. 1248) Зеленодольскому ПКБ и катера на воздушной подушке (КВП) «Косатка» (пр. 1238) ЦМКБ «Алмаз» с одинаковым составом вооружения, который предусматривал размещение на них башенной установки танка ПТ-76, пусковой установки реактивных снарядов БМ-14-17, усиленное бронирование и выполнения ряда других требований.

И если бронекатера пр. 1248 были спроектированы и затем строились практически в полном соответствии с выданным заданием, то требования к КВП пришлось существенно изменить в связи с его особенностями. В какой-то мере первоначальные требования заказчика были сродни водружению танка на самолет. Однако, учитывая амфибийные качества КВП, и те возможности, которые они дают, по результатам поиска подходящего вооружения и выполнения достаточно большого объема проектных проработок ТТЗ было изменено следующим образом: в качестве основного ударного оружия был предусмотрен 140-мм огнеметно-зажигательный корабельный комплекс А-22 «Огонь», состоящий из двух скрывающихся под палубой 22-ствольных пусковых установок реактивных снарядов МС-227 (боекомплект на обе установки 88 неуправляемых реактивных снарядов). В дополнение к ним предусматривались: 30-миллиметровая артиллерийская установка АК-306 с управлением от оптико-прицельной станции (ОПС) «Лазурь» (первоначально дополнительно предусматривалась установка визир-

КАТЕР ОГНЕВОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЕКТА 1238 «КОСАТКА»

А.Л. Ивченко, гл. конструктор,

Д.Е. Цымляков, канд. техн. наук, гл. конструктор, АО «ЦМКБ «Алмаз», контакт. тел. (812) 373 8300



Модель катера на воздушной подушке пр. 1238 по одному из первых вариантов технического проекта

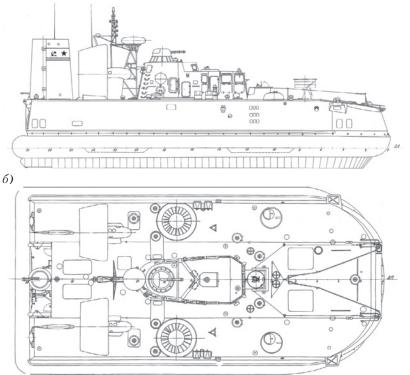
ной колонки), два 30-миллиметровых башенных гранатомета БП-30 побортно и для защиты кормовой сферы башенная 12,7-мм спаренная установка «Утёс-М».

Разработка технического проекта осуществлялась в секторе главного конструктора Л. В. Озимова под руководством заместителя главного конструктора Ю. П. Семёнова. Главная энергетическая установка, состоящая из двух газотурбинных двигателей М-70 мощностью по 10000 л. с., движительный и подъемный комплексы (воздушные

a)

винты в кольцевых насадках и нагнетатели) были приняты такими же, как на десантно-высадочном катере «Кальмар» (пр. 1206), разработанном ранее для использования на большом десантном корабле «Носорог» (пр. 1174).

В отличие от катера «Кальмар», на котором все потребители питались от навешенных на ГГТА генераторов, на «Косатке» с большим количеством потребителей была предусмотрена электростанция с двумя газотурбогенераторами ГТГ-100 суммарной мощностью



Катер огневой поддержки пр. 1238 «Косатка» – виды сбоку (а)и сверху (б)

200 кВт, расположенная в кормовой части катера между машинными отделениями главных двигателей.

Главные размерения катера определили, исходя из размещения вооружения, главной энергетической установки, движительного и подъемного комплексов, постов управления движением и оружием и оптимальной центровки во всех случаях загрузки. Отсутствие каких-либо ограничений по главным размерениям и другим параметрам позволили увеличить длину и ширину и выйти на более оптимальные режимы работы нагнетателей, чем на катере «Кальмар», и разработать более совершенное гибкое ограждение.

Корпус катера, изготовленный из прессованных панелей из алюминиево-магниевых сплавов, представляет собой основной несущий понтон высотой 0,8 м, на котором находится надстройка от борта до борта, в которой в основном и размещаются все помещения. По ширине корпус катера разделен двумя продольными переборками: ширина бортовых отсеков определена размещением в них главных двигателей и нагнетателей, ширина среднего — размещением в нем пусковых установок МС-227 и обслуживающих их механизмов.

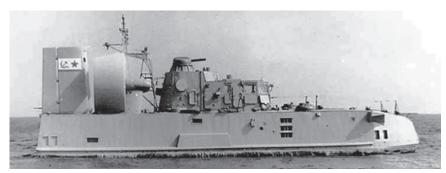
Слева и справа от установок МС-227 в бортовых отсеках размещены подпалубные механизмы башенных гранатометов, а впереди – в среднем и бортовых отсеках – пост радиосвязи, жилые и бытовые помещения личного состава в период их пребывания на катере (постоянное проживание не предусматривалось).

В корму от помещения установок MC-227 размещен пост управления главной и вспомогательной энергетическими установками и далее электроэнергетический отсек.

По ДП в самой корме на открытой площадке размещена башенная пулеметная установка «Утёс-М». На палубе надстройки за установками МС-227 находится рубка, в кормовой части которой на возвышенном банкете установлена ОПС «Лазурь», а уже над ней — сама артустановка АК-306. За рубкой находится мачта с навигационной РЛС «Экран» (по проекту), фактически — НРЛС «Миус».

Основное управление катером и оружием осуществляется из ГКП, расположенного в рубке. Рубка и борта надстройки в районе установки гранатометов и ПУ МС-227 защищены противопульной броней из алюминиево-магниевых сплавов. Для защиты иллюминаторов ходовой рубки предусмотрены бронещитки.

Основные кораблестроительные элементы катера были получены следующие: водоизмещение полное — 132 т. Главные размерения, м: длина наибольшая — 26,6, ширина наибольшая — 11,20. Скорость



Катер огневой поддержки пр. 1238 «Косатка» во время испытаний



Десантный катер на воздушной подушке пр.12061Э «Мурена-Э»

хода полная — 55 уз. Мореходность — 3—4 балла. Дальность плавания — 200 миль при скорости 50 уз. Экипаж —15 чел.

В процессе проектирования КВП особое внимание уделяется строгому контролю центровки и экономии массы по отдельным статьям нагрузки для обеспечения заданных заказчиком скорости, грузоподъемности и дальности плавания. В период строительства корабля осуществляется весовой контроль, который заключается в выборочном взвешивании отдельных секций корпуса, проверке по формулярам и паспортам массы устанавливаемого оборудования и т.д. Наибольшие погрешности, как правило, бывают в определении массы электрических кабелей и их крепежа.

Постройка катера огневой поддержки АК-16 (зав. № 201) велась на Феодосийском производственном объединении «Море», которое специализировалось на постройке таких кораблей. Катер был заложен в 1981 г., вступил в строй Краснознаменного Черноморского флота в следующем году. В ходе постройки ничего особенного не выявилось, но каково было удивление уже к тому моменту ставшим главным конструктором Ю. П. Семёнова и его заместителей, когда при взвешивании катера выяснилось, что его масса оказалась на 9 т (6,5%) меньше ожидаемой. Такой прецедент в практике бюро произошел впервые. Тщательный анализ нагрузки масс катера позволил сделать следующие выводы, объясняющие это:

 корпус катера выполнен в основном из алюминиево-магниевых прессованных панелей, имеющих большой допуск по толщине листа, особенно плюсовой, в расчет же масс закладывается средняя толщина листа, т.е. так называемый «недокат» (плюсовой допуск по толщине листа);

в системе Минавиапрома, который поставлял этот прокат, эти панели использовались только с «недокатом», так как их предприятия доводили их в размер путем химического фрезерования, а все панели с «перекатом» (с минусовым допуском по толщине листа) шли предприятиям Минсудпрома, для которых это было некритично.

Теоретические расчеты подтвердили возможность такого снижения массы корпуса катера в случае поставки всей партии металла с «перекатом».

В остальном испытания катера прошли успешно, в полном объеме и подтвердили его спецификационные данные. В серийное строительство катер не передавался по причине изменения воззрений заказчика на тактику проведения десантных операций, где уже спроектированным катерам места не нашлось. Но проверенное на катере вооружение потом с успехом использовалось на последующих катерах и кораблях на воздушной подушке. Так, комплекс «Огонь» с ПУ МС-227 позднее вошел в состав вооружения малого десантного корабля «Зубр» (пр. 12322), а башенные гранатометы БП-30 установлены на десантно-высадочном катере «Мурена» (пр. 12061).

Полученные в результате испытаний данные о влиянии изменения размерений воздушной подушки на ходовые и мореходные качества катера легли в основу проекта будущей «Мурены».

а 17-й Международной выставке по гражданскому судостроению, судоходству, деятельности портов, освоению океанов и шельфа «Нева—2023» Центром трансфера технологий Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (ЦТТ СПбГМТУ) был представлен для обсуждения с потенциальными заказчиками проект научно-исследовательского образовательного и коммерческого судна НИОКС «Пионер-2».

Основаниям для данного проекта являются совокупность нормативноправовых актов и решение Экспертного совета от 15.08.2023 г. по развитию судостроительной промышленности и морской техники при Комитете Государственной Думы РФ по промышленности и торговле, который рекомендовал внедрение научно-исследовательских судов типа «Пионер-М» для нужд судостроительных морских и иных профильных учебных заведений.

НИОКС «Пионер-2» — это модификация НИС «Пионер-М», головной образец которого был построен в 2022 г. Средне-Невским судостроительным заводом с использованием композитных материалов по уникальной технологии — вакуумной инфузии.

В августе 2022 г. судно прошло ходовые испытания и передано Севастопольскому государственному университету для дальнейшей эксплуатацию по прямому назначению.

О РАЗВИТИИ ПРОЕКТОВ МАЛЫХ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СУДОВ

Ю.В. Баглюк, канд. техн. наук, доцент,

М.Н. Ещенко, канд. эконом. наук, директор Центра трансфера технологий, **А.А. Коржов,** ст. преподаватель, СПбГМТУ,

контакт. тел. +7 (911) 229 1097, +7 (921) 964 1161

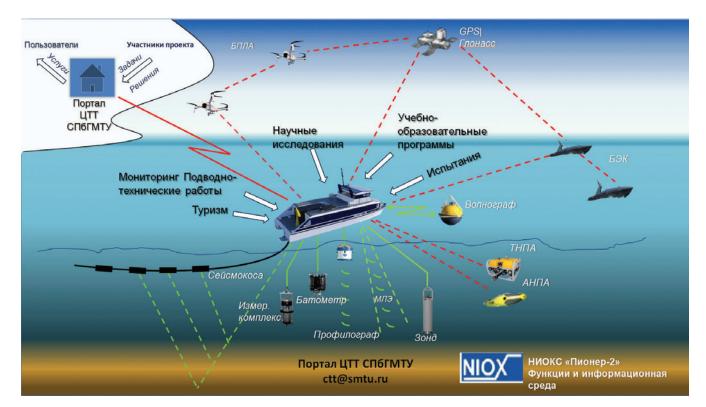
С учетом опыта создания НИС «Пионер-М» ЦТТ СПбГМТУ рассматривает модификацию проекта с более широкими функциями как многофункциональную базовую платформу, которую в зависимости от требований заказчиков можно использовать:

- для проведения научно-исследовательских работ (НИР) различного назначения, например, гидрохимикофизического анализа воды и грунта, биофизического анализа параметров воды, сейсмозондирования грунта, измерения параметров течений и волнения; для выполнения НИР размещают сменные 20-футовые контейнеры с научным оборудованием на кормовой палубе судна;
- для осуществления мониторинга воздушной, надводной и подводной обстановки, в том числе в составе региональной системы безопасности мореплавания;

- для измерения промеров глубин, съемки береговой черты для формирований цифровых электронных карт, 3D рельефа дна и промежуточных изобат глубин, в том числе в узкостях и прибрежной полосе;
- для отработки элементов сетецентрической технологии и решения задач безэкипажного судовождения (единое информационное пространство: робототехнические комплексы (РТК) воздушные, надводные, подводные НИОКС как носитель и центр индивидуального и группового управления РТК портал ЦТТ как центр планирования миссий, анализа телеметрии, трансляции научных данных, оценки технического состояния и управления жизненным циклом комплекса);
- для испытания вновь разрабатываемых приборов и устройств для судов и средств полезной нагрузки РТК, алгоритмов и программ, гид-



НИС «Пионер-М»



ты информации, обеспечения морских испытаний судов и кораблей, для решения задач по экологии, биоресурсам, сейсморазведке, подводно-техническим работам, безопасности подводных объектов, сооружений, кабельных и трубопроводных трасс, контроля разлива нефти и экспресс анализа нефтепродуктов, спасательным работам и отработки экстренной эвакуации персонала собственно с самого

роакустики, средств связи и защи-

для совершенствования аппаратуры морского участка медицинской эвакуации пострадавших за счет роботизации и телеуправления,

судна;

- для обучения школы, вузы, военные училища, инженерные классы (образовательные программы на борту), подготовки операторов РТК;
- для коммерческого использования услуги, туристы, экскурсии, популяризация науки;
- как комплексное экспортное предложение: проектирование и создание инфраструктуры для приема НИОКС, поставка и обслуживание «под ключ» в соответствии с требованиями заказчика.

В части инноваций рассматривается переход НИОКС на электродвижение, электрофикацию приводов судового оборудования и внедрение судовой зарядной станции для зарядки систем накопления энергии бортовых РТК. Для обеспечения судна электроэнергией предусмотрена многодвигательная дизель-генераторная электроэнергетическая система с воз-

можностью применения СПГ (метана или пропан-бутана или метилбензола) в качестве топлива или других источников электроэнергии (водородного, аккумуляторных батарей, солнечных панелей и др.). Современные технологии 3D печати позволяют перейти на композитные конструкции корпусов аппаратуры и пультов. Организация управления одним судоводителем с мостика обеспечивается цифровой интегрированной интеллектуальной автоматизированной системой навигации и координированного управления техническими средствами, движением и удержанием судна с открытой клиент-серверной архитектурой. В составе программного обеспечения системы реализуется отечественная ЭКНИС, обеспечивающее расхождение с несколькими целями одновременно на безопасном расстоянии в соответствии с требованиями МП-ПСС-72. Дополнительно к традиционным решениям этот комплекс автоматизации имеет взаимосвязанный Пост управления РТК. Пост управления содержит автоматизированной рабочее место (АРМ) оператора полезной нагрузки и АРМ оператора управления РТК.

В обсуждении проекта приняли участие представители Комитета Правительства Санкт-Петербурга по Арктике, Регионального отделения Союза машиностроителей России, губернатора Севастополя, Регионального отделения Росморпорта, Регионального фонда научно-технического развития СПб, Ассоциации судостроителей СПб и Ленинградс-

кой области. Представленный проект НИОКС вызвал интерес, в целом был поддержан, рекомендованы к внедрению дополнительные функции, позволяющие повысить эффективность его использования.

Приведенные технические решения и заложенные направления импортозамещения материалов, оборудования и импортной электронной базы направлены на снижение себестоимости строительства судна.

Наряду с изложенным авторы рассматривают НИОКС «Пионер-2» как хаб инноваций, технических и технологических решений, образовательных и коммерческих услуг. С целью обеспечения совместных продуктивных работ ЦТТ СПбГМТУ открыл портал для конфигурирования и контрактования НИОКС и предоставляемых им услуг.

Основные задачи портала:

- создание клиентского и диспетчерского центра 24/7 поддержки НИОКС на протяжении всего жизненного цикла;
- организация единого цифрового пространства, синхронизированного с личным кабинетом клиента в ЦТТ,
- дистанционное обновление программного обеспечения, учебные и образовательные курсы с использованием интерактивных учебных пособий и руководств, решение научных задач, проведение экскурсионных миссий с виртуализацией, дополненной реальностью, а также оказание услуг на протяжение всего жизненного цикла.

ВВЕДЕНИЕ

арпол (Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов) касается предотвращения загрязнения морской среды судами как по эксплуатационным, так и по аварийным причинам. Первоначально принятая в 1973 г. и обновленная в 1978 г. конвенция вступила в силу в 1983 г., хотя все предложенные правила не будут полностью применяться до 2005 г. Структурно Марпол состоит из правил, разделенных на шесть технических приложений с конкретными инструкциями по предотвращению загрязнения морских акваторий и воздуха (рис. 1) [1-3].

Наиболее важной частью Марпол в отношении энергоэффективности является Приложение VI: Предотвращение загрязнения воздуха с судов, вступившее в силу с 2011 г., охватывает также обязательные технические и эксплуатационные меры, направленные на сокращение выбросов парниковых газов с судов. Среди этих мер наиболее важными являются те, которые в настоящее время определены ИМО.

В июне 2021 г. приняты поправки к Приложению VI Марпол. Речь идет о следующем:

индекс энергоэффективности существующих судов (ЕЕХІ) приведен в поправке МЕРС 333(76). Он применяется для оценки эффективности всех существующих судов, как и EEDI, и охватывает суда тех же типов и размеров, но теперь независимо от даты их постройки. Судовла-

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В МОРСКОЙ ИНДУСТРИИ

- С.Г. Черный, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова» и ФГБОУ ВО «Херсонский технический университет»,
- **А.С. Соболев,** ассистент кафедры ФГБОУ ВО «Керченский ГМТУ»,
- **Н.И. Черная,** инженер ФГБОУ ВО «Херсонский технический университет»,
- **П.А. Ерофеев,** аспирант ФГБОУ ВО «Керченский ГМТУ»,
- контакт. sergiiblack@gmail.com, sobolev.alexandr1496@gmail.com, khtunauka@ yandex.ru, pavel.erofeev.95@mail.ru

дельцам необходимо рассчитывать EEXI судов своего флота, значения которого должны соответствовать требуемому или быть ниже его;

индикатор интенсивности углерода (СІІ) введен в четырех поправках, объясняющих индексы и способы работы с ними. С его помощью определяют ежегодный коэффициент снижения эксплуатационной углеродоемкости судна в пределах определенного рейтинга по убывающей шкале от А до Е. Это постоянная задача, которую необходимо решать каждый год, начиная с 2023 г. Любое судно, классифицируемое как Е или три года подряд как D, должно представить план корректирующих действий для достижения рейтинга С или выше. Принятие новых мер будет основываться на ранее принятых ИМО обязательных мерах по энергоэффективности, чтобы вывести судоходство на правильный путь к декарбонизации [1-3].

КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВ В СООТВЕТСТВИИ С ИМО

Существует несколько типов судов в зависимости от их функции, и указанная функция может накладывать ограничения мер по повышению эффективности, которые судно может применять без ухудшения производительности.

ИМО выделяет несколько важных типов грузовых судов:

- танкер судно, построенное или приспособленное в первую очередь для перевозки нефти или других химикатов наливом в своих грузовых помешениях:
- навалочное судно предназначено для перевозки сухих грузов навалом, таких как руда;
- газовоз грузовое судно, построенное или приспособленное для перевозки наливом любого сжиженного газа:
- контейнеровоз судно, предназначенное исключительно для перевоз-



Рис. 1. Структура конвенции МАРПОЛ

ки контейнеров в трюме и на палубе. Контейнеровоз общего назначения может быть с многопалубным или однопалубным корпусом, предназначенным для перевозки генеральных грузов (к ним не относятся специализированные сухогрузные суда, такие как скотовоз, баржевоз, тяжелогрузный перевозчик, яхтовозы, ядерные суда и топливовозы);

- рефрижератор судно, предназначенное для перевозки рефрижераторных грузов;
- комбинированное судно предназначено для 100%-ной загрузки дедвейта как жидкими, так и насыпными грузами.

Существуют и другие типы судов, которых касается ИМО, но они не предназначены для перевозки грузов, причем наиболее важными среди них являются ро-ро и пассажирские суда. Основной характеристикой этих судов является не дедвейт, а либо объем грузового помещения либо количество пассажиров, поэтому их касаются иные правила и нормативы.

Согласно отчету Международного совета по экологически чистому транспорту за 2013 г., наибольшая часть общих выбросов судов приходится на контейнеровозы (23%), сухогрузы (19%) и нефтяные танкеры (13%). Но есть еще некоторые заслуживающие внимания работы, касающиеся кораблей, в первую очередь крейсеров, но их здесь не будем рассматривать.

По состоянию на 2017 г. анализ энергоэффективности судов, проведенный организацией «Транспорт и окружающая среда» с использованием официальных данных ИМО, показал результаты, приведенные в табл. 1 [2–5]:

Можно видеть, что многие из прошедших оценку суда уже будут соответствовать требованиям EEDI на 2025 г. Как видим, более 70% контейнеровозов, выбросы которых достигают около квартета глобальных выбросов СО₂, их эффективность на 58% выше базового уровня по сравнению с уровнем 2025 г., чего нельзя сказать о сухогрузах.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЕВРОПЕЙСКИЕ ПРАВИЛА

Набор нормативных актов, применяемых на европейском уровне, включает Мониторинг, отчетность и проверка ЕС (MRV), Европейский регламент по утилизации судов (SRR) и Индекс чистого судоходства (CSI) (табл. 2).

ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Поскольку на выбросы ${\rm CO_2}$ влияют установленная мощность главных и вспомогательных двигателей, а также качество и количество сжигаемого

Доля судов, построенных в Повышение эффективности новых Тип грузового 2013-2017 гг., соответствующих судов по сравнению с базовым целевому показателю EEDI на перисудна значением EEDI 2013 г.,% од после 2025 г., % Контейнеровоз 71 Торговое судно 57 69 42 13 Газовоз Танкер 35 26 Сухогруз 27 1

Сроки действия европейских правил

Таблица 2

| Ороки осистоим соронеиским приоим | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------|---|--|--|--|--|
| Организация | Дата принятия | Пояснение | | | | |
| MRV | Июнь 2013 | Европейская комиссия предлагает стратегию постепенного включения морских выбросов в политику по парниковым газам | | | | |
| MRV | Апрель 2015 | Стратегия одобрена парламентом ЕС | | | | |
| MRV | Июль 2015 | Вступил в силу | | | | |
| MRV | Январь 2016 | Судоходные компании должны отслеживать потребление топлива, выбросы углерода и другие показатели для каждого судна, находящегося под их ответственностью. Первый отчетный период – до декабря | | | | |
| ПСР | Ноябрь 2013 | ПСР предложен парламентом ЕС, чтобы помочь быстрой ратификации Гонконгской конвенции | | | | |
| ПСР | Декабрь 2013 | Вступил в силу | | | | |
| CSI | 14 ноября 2017 | Шведская морская администрация утвердила правила фарватерных сборов | | | | |
| CSI | Январь 2018 | Внедряется система, в соответствии с которой суда с высокими экологическими показателями получают бо- лее низкие сборы за дальнее плавание | | | | |

в них топлива, олним из основных способов снижения выбросов парниковых газов является оптимизация основных двигателей и, следовательно, силовой установки. Этому способствуют новые технологии. В некоторых исследованиях моделировалась энергоэффективность ряда инновационных силовых установок круизных лайнеров, для которых энергопотребление для обеспечения комфортных условий для пассажиров имеет особое значение. Из всех проанализированных систем паровые системы двойного давления, особенно органические циклы Ренкина, имеют наибольшие потенциальные преимущества - у них лучше ККЭЭ, эксплуатационная эффективность и более низкий расход топлива, чем v остальных, хотя и с небольшим отрывом. Еще одним примером попыток оптимизации двигателей являются электрические силовые установки, экономическое и экологическое воздействие которых исследуется для повышения эффективности работы коммерческих, круизных судов и военно-морских кораблей [3-6].

ГИБРИДНЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ

Гибридная энергетическая система (HPS)— это широкий термин, используемый для описания структуры, состоящей из комбинации первичного двигате-

ля и системы накопления электроэнергии, обычно какой-либо формы батареи. Устройство накапливает энергию, вырабатываемую первичным двигателем при легких нагрузках, и высвобождает ее при больших нагрузках. Благодаря данному устройству снижается потребность в топливе первичного двигателя и позволяет ему постоянно работать с максимальной эффективностью. Данную меру еще предстоит внедрить в больших масштабах на судах нескольких типов, например, паромах, буксирах, рыболовных судах и других малых судах.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Внедрение альтернативных источников энергии – очень перспективный способ повышения энергоэффективности на кораблях, но они требуют тщательного изучения, прежде чем их можно будет внедрить в больших масштабах. В качестве испытательного полигона послужил очень крупный перевозчик сырой нефти. Результаты показывают, что ветряные турбины, фотоэлектрические панели и валогенераторы являются эффективными средствами сокращения выбросов углерода. В исследовании также указывается, что этот эффект может быть усилен другими мерами, такими как использование СПГ в качестве топлива для судовых двигателей, преимущество которого заключается в устранении почти всех выбросов SO_{v} .

Еще одним многообещающим источником энергии является водород, использование которого в последнее десятилетие растет. Это привело к созданию специализированных судов для его перевозки, таких как танкеры для жидкого водорода.

БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОРСКОЙ ОТРАСЛИ

Помимо изменения нормативов важно совершенствование внутренней организации отрасли. Индустрия 4.0 - это предлагаемый метод революционизировать проектирование, производство и эксплуатацию судов в рамках интеллектуального процесса жизненного цикла продукта, где выдвигается энергоэффективность на первый план. Несмотря на то, что этот метод больше ориентирован на массовое производство потребительских товаров, некоторые из наиболее известных технологий, таких как интеллектуальные роботы и автоматизированное моделирование, могут применяться и в судостроении [5,6]. Использование даже только одной из современных технологий может значительно повысить эффективность всего этапа постройки и эксплуатации судна. Так, интерес представляет анализ больших данных, который способствует извлечению скрытой информации в значительном объеме и, таким образом, принятию решений с vчетом различных изменяющихся vcловий окружающей среды, влияющих на оптимизацию управления судном. Данные, касающиеся оптимизации энергоэффективности судов, можно разделить на две категории. Есть оперативные данные, включая скорость плавания, местоположение и расход топлива, существуют и данные об окружающей среде, такие как скорость ветра и морские глубины. Процесс анализа начинается со сбора необходимых данных с помощью бортовых датчиков. После его завершения приступают к обработке полученных данных, которая включает замену точек данных низкого качества на линейно интерполированные значения. Процедура также включает в себя разделение маршрута и определение оптимальной частоты вращения двигателя для каждого типа навигационных усло-

Огромное количество сложных взаимодействий систем судна, даже при-

менимых только на олном из этапов его жизненного шикла, делает очень важным не только управление большими объемами данных, но и максимально возможное расширение сферы исследований эффективности. Если взять, к примеру, операционную эффективность, то сосредоточение внимания на ее повышении только в нескольких конкретных областях без учета влияния на другие операционные требования может привести к неутешительным общим результатам. Например, нанесение на корпус краски с низким коэффициентом трения может повысить топливную экономичность в море, но ее меньшая долговечность или устойчивость к морским зарослям может потребовать более частого и дорогостоящего технического обслуживания.

БАРЬЕРЫ НА ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Несмотря на существование всех этих, казалось бы, экономически эффективных технических и эксплуатационных мер, судоходные компании не очень охотно применяют их, что приводит к явлению, называемому «разрывом в энергоэффективности», наблюдаемый как в морской отрасли, так и в других отраслях. Этот разрыв хорошо известен в нескольких отраслях промышленности, и уже существуют некоторые инструменты, разработанные с целью его минимизации. Для морской отрасли предназначен План управления энергоэффективностью судов (SEEMP) ИМО. На рынке фрахтования основным бенефициаром операционной экономии, связанной с низкоуглеродными технологиями, часто является не тот, кто инвестировал в такие технологии. Тут возможен конфликт интересов [7-9]. Во многих случаях лицо, ответственное за финансирование указанной меры, может от этого не выиграть.

выводы

Большая часть нормативных документов сегодня направлена на сокращение выбросов и повышение энергоэффективности. С введением индекса EEDI создалась ситуация, когда суда уделяют больше внимания минимизации уровня значения этого индекса, а не снижению потребления топлива и энергии. Однако сокращение значения EEDI – лишь временное решение, пока не будут приняты иные, более универсальные меры. И сама система EEDI имеет некоторые «слепые зоны» — она не затрагивает суда внутреннего плава-

ния и приводит к неправильной оценке судов типа ро-ро и пассажирских судов. Следует отметить, что судостроительная отрасль делает усилия по минимизации разрыва в энергоэффективности в целях экологически чистого будущего.

ЛИТЕРАТУРА

- Колесник Д. В., Егоров Г. В. Энергоэффективность судов смешанного плавания нового поколения // Морской вестник.

 2012. № 4(44). С. 97-103. EDN RBHICI.
- 2. Итоги 128-й сессии Совета ИМО 28 ноября 2 декабря 2022 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/Council,-128th-session.aspx (дата обращения: 11.12.2022).
- 3. Итоги 125-й сессии Совета ИМО. 28 июня –2 июля 2021 г. (дистанционная сессия) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/C125.aspx (дата обращения: 11.12.2022).
- Жуков В.А., Степанов Е.А., Ерофеев В.Л.
 Противообледенительное устройство ледокола как средство повышения энергоэффективности судна // Вестник ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова. 2022. Т. 14. № 3. С. 430–439. DOI 10.21821/2309-5180-2022-14-3-430-439. EDN MZKZJF.
- Чернов О.А. Типовые замечания, выявляемые при проверках государств членов ИМО, и способы их устранения // Вестник ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова. 2023. Т. 15. № 1. С. 32–41. DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-1-32-41. EDN SJLFJL.
- 6. Руди Д.Ю., Домке Т. Г. Актуальность проблемы повышения энергоэффективности судов морского и речного флота. Инновационное развитие современной науки: проблемы, закономерности, перспективы: сб. ст. V Международ.науч.-практ. конфер. В 3 ч. Пенза, 10 декабря 2017 г. Ч.1:Наука и просвещение. С. 124–127. EDN YKIAWQ.
- 7. Жуков В.А., Пересецкий И.Л. Ресурсы повышения энергоэффективности судовых энергетических установок. Актуальные проблемы морской энергетики: Мат-лы 11-й Международ. науч.техн.конфер., Санкт-Петербург, 17–18 февраля 2022 г. С. 203–206. DOI 10.52899/9785883036322_203_206. EDN PYMVMK.
- 8. Валов Д.С., Валгин С.А. Системы управления судовыми энергетическими установками автономных судов.// Актуальные исследования. -2023. -№ 5(135). -C. 19–28. -EDN QGRTJJ.
- Авдеев Б.А. Интеллектуальные энергоэффективные системы морских судов // Вестник Керченского ГМТУ. – 2021. – № 4. – С. 99–113. – DOI 10.47404/2619-0605_2021_4_99. – EDN BFMOLU.

процессе проектирования автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) специалисты используют установившиеся в судостроении теории, методики и нормативы, обращая внимание на особенности конструкции и назначение аппаратов.

При разработке проекта и оптимизации сроков его создания требуется выбрать параметры и элементы, близкие к оптимальным. При этом приходится учитывать и оперировать большим числом связей между элементами

и требованиями, предъявляемыми к АНПА [1].

К основным характеристикам АНПА относятся: максимальная глубина погружения, автономность, скорость и полезный груз аппарата.

Для упрощения анализа и выбора оптимальных параметров АНПА в Санкт- Петербургском государственном морском техническом университете на кафедре проектирования и технологии производства морских подводных аппаратов и роботов разрабатывается программа автоматизированного расчета на языке программирования Visual Basic 6.0 для АНПА с классическими гидродинамическими формами (цилиндрической, торпедообразной, сигарообразной)[9]. На сегодняшний день программа позволяет рассчитать зависимость между параметрами АНПА и критериями оценки ее эффективности, а именно:

- между массогабаритными параметрами и водоизмещением;
- между эффективной мощностью двигателя, скоростью и габаритными параметрами;
- между дальностью, скоростью, энергетическими и массогабаритными параметрами;
- между глубиной погружения АНПА, материалом и параметрами его корпуса.
 - Исходные данные, используемые в программе:
- длина АНПА;
- диаметр АНПА;
- плотность воды;
- коэффициент, учитывающий влияние на водоизмещение обводов, удлинение и проточные отсеки, влияющие на водоизмещение АНПА;
- скорость АНПА;
- масса энергозапасов АНПА;
- величина удельной энергии энергозапасов АНПА;
- относительная масса энергозапаса АНПА;
- плотность материала АНПА;
- толщина оболочки корпуса АНПА;
 - Программа рассчитывает следующие параметры АНПА:
- относительное удлинение;
- водоизмещение;
- смоченную поверхность;
- подводимую эффективную мощность;
- дальность хода;
- относительную массу корпуса;
- масса корпуса;
- глубина погружения АНПА;
- максимально допустимая высота сечения корпуса;
- критерий прочности к массовой эффективности корпуса.
 Интерфейс панели ввода исходных данных приведен на рис. 1.

Результаты расчетов выводятся на панель, интерфейс которой приведен на рис. 2.

Для примера выполним расчет прочного корпуса с использованием следующих конструкционных материалов: алюминиевого сплава 7075, титанового сплава ВТ22, стеклопластика, стали марки НУ-80 (см. таблицу).

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРИ ЕГО ПРОЕКТИРОВАНИИ

В.Г. Данилова, аспирант, преподаватель СПбГМТУ, контакт. тел. + 7 (931) 261 5158, rx301@bk.ru



Рис. 1. Интерфейс панели ввода исходных данных

| Дианетр АНПА (text)-d | 0.45 | CKOPOCTIL AHITIA 2.5 | 5 | Велична удельной энергы энергозапаса | 80 | Плотность материала корпуса АНПА- Ym [г/см ⁻¹ 3] | 2.81 |
|--------------------------------|------|--|-------|---|----|---|---------|
| Дана АНПА | 3 | Реконендованное | | Bec sheprosanacos AHDA (w/) - G | 30 | Топшина оболочки корпуса АНГІА (см) - t | 1 |
| Чдельный вес плотности воды | 1000 | характеризующие гнародиналическое качество изделия - Кр | 0.005 | ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, | | Идельная прочность материала (сн.)- material | 4080000 |

Рис. 2. Интерфейс панели результата расчетов

Таблица

Характеристики конструкционных материалов

| Материал | Плотность материала, г/см ³ | Предел текучести материала, м² | Удельная прочность материала, см |
|-------------------------------|--|--------------------------------------|--|
| Алюминиевый сплав 7075-T6 [3] | 2,81 | 140 | 40,8×10 ⁵ |
| Титановый сплав ВТ22 [4] | 4,620 | 1372,9 | 297,1×10 ⁵ |
| Стеклопластик [5, 6] | 1,6 | 1700 | 1062,5×10 ⁵ |
| Сталь марки НУ-80 [7] | 7,746 | 550 | 71×10 ⁵ |

В качестве прототипа возьмем АНПА «МТ-2010» [2] со следующими параметрами: диаметр d=0,45 м, длина l=3 м, плотность воды $\rho=1000$ кг/см³, скорость хода V=2,5 м/с. Примем: толщина оболочки корпуса АНПА t=1 см, величина удельной энергии энергозапаса a=80 Вт.ч/кг, масса энергозапаса G=30 кг.

Принимая во внимание, что емкость батареи литий-ионных аккумуляторов АНПА «МТ-2010» составляет 2,6 кВт \cdot ч, для расчетов была выбрана аккумуляторная батарея BSLBATT массой 30 кг [8].

После проведенных расчетов получили зависимость массы корпуса АНПА от выбранного материала (рис. 3).

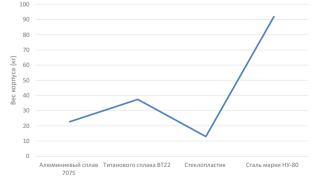


Рис. 3. **Масса корпуса АНПА в зависимости от выбран**ного материала

Зависимость относительной массы корпуса АНПА по отношению к водоизмещению в соответствии с выбранными материалами приведена на рис. 4.



Рис. 4. Относительная масса корпуса АНПА по отношению к его водоизмещению в зависимости от выбранного материала

Критерий прочности в зависимости от массовой эффективности корпуса АНПА приведен на рис. 5.

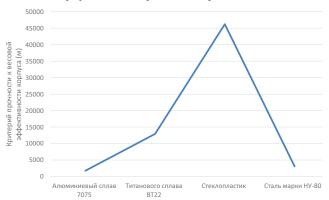


Рис. 5. Критерий прочности в зависимости от массовой эффективности корпуса АНПА

Далее на основе результатов расчетов построена зависимость необходимой эффективной мощности от задаваемой скорости АНПА при условии, что остальные параметры неизменны (рис. 6).

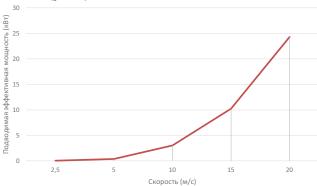


Рис. 6. Зависимость подводимой эффективной мощности от скорости АНПА

Как видно из рис. 6, при увеличении скорости возрастает необходимость увеличения подводимой эффективной мощности. На рис. 7 построена кривая, демонстрирующая

зависимость расстояния проходимого АНПА от задаваемой скорости при условии, что остальные параметры неизменны.

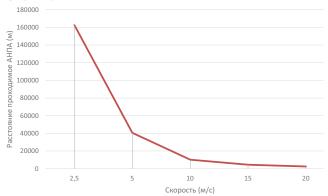


Рис. 7. Зависимость расстояния, которое проходит АНПА, от его скорости при одном и том же энергозапасе

Как видно на рис. 7, при увеличении скорости расстояние, которое $\rm AH\Pi A$ может пройти, уменьшается.

Анализ результатов расчетов позволяет оценить эффективность изделия, выполненного из разных материалов, и оптимизировать необходимые параметры для решения задач по проектированию АНПА.

Заключение: предложенная программа еще требует доработки, но уже сейчас можно сделать вывод, что ее код, написанный на языке программирования Visual Basic 6.0, позволяет быстро рассчитать характеристики АНПА, имеющего классические гидродинамические формы (цилиндрическая, торпедообразная, сигарообразная) с необходимой для практики точностью на начальной стадии проектирования, уменьшить количество возможных ошибок и упростить расчеты.

ЛИТЕРАТУРА

- Дмитриев А.Н. Проектирование подводных аппаратов. СПб.: Судостроение, 1978. – 236 с.
- 2. Электронный pecypc: http://jmtp.febras.ru/journal/2_12_2011/37-42.pdf, дата обращения 28.03.2023 г.
- Электронный ресурс:https://almet.ru/directory/raschetnye-teoreticheskie-znachenija/ras-alum/plotnost-alyuminievyh-splavov. html, дата обращения 28.03.2023 г.
- Электронный ресурс: https://www.mpstar.ru/cvetnye-metally/ titan-splavy/vt22/, дата обращения 28.03.202 г.
- Электронный ресурс: https://almet.ru/directory/raschetnyeteoreticheskie-znachenija/ras-alum/plotnost-alyuminievyh-splavov. html, дата обращения 28.03.2023 г.
- Электронный ресурс: http://www.tartech.ru/grp/characteristics. php, дата обращения 28.03.2023 г.
- Электронный ресурс: https://en.wikipedia.org/wiki/HY-80, дата обрашения 28.03.2023 г.
- 8. Электронный ресурс: https://www.lithium-battery-factory. com/ru/product/10-kwh-lithium-iron-battery/, дата обращения 28.03.2023 г.
- 9. Зраев Р. А. Техника покорения морских глубин. Необитаемые подводные аппараты вчера, сегодня и завтра // Молодой ученый. 2016. № 26 (130). С. 37—39. URL: https://moluch.ru/archive/130/35877/, дата обращения 04.04.2023. ■

ВВЕДЕНИЕ

С начала XXI в. в Российской Федерации и других странах наблюдается рост темпов проектирования и постройки автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА).

Поскольку большая часть миссий АНПА (патрулирование, поисковые операции, позиционирование, обследование, идентификация подводных объектов, подводная съемка) выполняются на малых скоростях хода — до 3—4 уз, на которых рули малоэффективны, основным средством активного управления АНПА являются подруливающие устройства (ПУ).

Однако с увеличением скорости набегающего потока, даже при самых малых скоростях хода, или при наличии встречного течения, эффективная тяга ПУ уменьшается. Это явление описано в ряде работ [1–7], и совершенно очевидно, что его необходимо учитывать проектантам движительно-рулевых комплексов и систем управления ПА, поскольку оно напрямую влияет на успешность выполнения миссий.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ ПУ

Как уже отмечалось выше, эффективная тяга ПУ при наличии встречного течения или собственной скорости АНПА снижается. Гидродинамические факторы, приводящие к такому снижению тяги ПУ следующие [1, 2]:

1) взаимодействие струй, создаваемых носовым ПУ и обтекающих корпус, приводит к понижению давления на борту АНПА, в зоне выходного канала ПУ и образованию силы засасывания на корпусе, существенно снижающей эффективную тягу носового ПУ;

2) искривленная набегающим потоком струя примыкает к корпусу за ПУ и ускоряет поток в области пограничного слоя. Это приводит к дополнительному разрежению на корпусе и снижает эффективную тягу носового ПУ;

3) при относительно больших скоростях обтекания корпуса в сравнении с относительно маленькими скоростями

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ТЯГИ НОСОВЫХ ПОДРУЛИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

А.В. Юрканский, канд. техн. наук, начальник сектора, **И.И. Ремизов,** конструктор 2-й категории, AO «ЦКБ МТ «Рубин», контакт. тел. (812) 494 1708

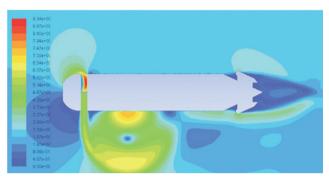


Рис. 2. Поле скоростей жидкости около подводного аппарата с работающим носовым ПУ (вид сверху)

струи, создаваемой ПУ, наблюдается эффект «запирания» потока, когда выброс струи из канала ПУ затруднен.

Схема распределения давлений на корпусе АНПА с работающим ПУ под воздействием набегающего потока жидкости представлена на рис. 1.

В качестве иллюстрации на рис. 2 показано распределение скоростей потока жидкости, истекающего из носового ПУ в условиях набегающего на корпус АНПА потока. Результаты получены методом численного моделирования (Computational Fluid Dynamics) [7].

Исследования эффективности ПУ надводных судов при различных скоростях хода проводятся с 60-х гг. ХХ в. в опытовых бассейнах. Эксперименты проводились в основном следующим образом: модель корпуса судна или фрагмент носовой оконечности его корпуса, оснащенный ПУ, буксируется прямым курсом, при нулевом угле дрейфа, с различными скоростями. В процессе буксировки гребной винт ПУ вращался с постоянными оборотами, при этом фиксировалось значение тяги ПУ при варь-

ировании скорости хода и сравнивалось с тягой в швартовном режиме [1]. На основании результатов таких исследований разными авторами [1, 3–6], были получены зависимости коэффициента падения тяги k от относительной скорости $\overline{\nu}$, которые описываются выражениями

$$k = T/T_{\text{\tiny IIIB}},\tag{1}$$

$$\overline{\nu} = \frac{\nu_0}{\nu_c},\tag{2}$$

где T — измеренное значение тяги; $T_{\text{\tiny IIIB}}$ — значение тяги на швартовном режиме, ν_0 — скорость потока жидкости, обтекающего корпус; $\nu_{\text{\tiny c}}$ — скорость струи, истекающей из канала ПУ.

Зависимость k от $\overline{\nu}$ для надводных судов представлена на рис. 3.

Даже на основе трех источников видно, что характеристики работы ПУ надводных судов значительно различаются между собой. Так, например, уже при $\overline{\nu}=0.2$ разброс значений коэффициента k очень большой и составляет от 0.5 до 0.7.

Зависимости k от $\overline{\nu}$ для подводных объектов показаны на рис. 4. Авторы этих

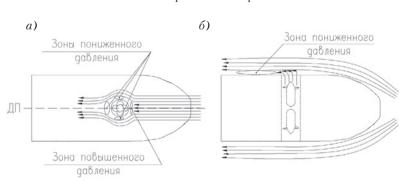
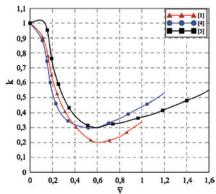


Рис. 1. Носовая оконечность АНПА при воздействии набегающего потока: a – вид сверху, б – вид сбоку



Puc. 3. Зависимость k от \overline{v} для надводных судов

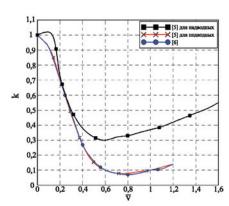


Рис. 4. Зависимость k от \overline{v} для подводных объектов и надводных сидов

зависимостей [5] и [6], к сожалению, не указывают на какой-либо конкретный тип или форму корпуса подводных объектов, для которых характерны приведенные зависимости. На рис. 4 дополнительно, для возможности сопоставления приведена зависимость для надводного судна [5].

Результаты сопоставления этих зависимостей показывают, что в области больших относительных скоростей, при $\overline{v}>0,4$ наблюдается особенно сильное расхождение зависимостей для надводных и подводных объектов. Это можно объяснить следующими причинами:

1. Место расположения ПУ. У надводных судов ПУ располагаются в нижней части корпуса. Таким образом, струя ПУ ограничена сверху и взаимодействует с массивом корпуса. У подводных аппаратов ПУ располагаются в средней части симметричного корпуса, струя ПУ равномерно взаимодействует с верхней и нижней частью корпуса.

Примеры расположения ПУ у надводного судна и подводного аппарата представлены на рис. 5 и рис. 6.

2. Форма корпуса. Для надводных судов характерна штевневая форма корпуса, расширяющаяся от носа к корме. По этой причине струя ПУ под воздействием набегающего потока легко примыкает к корпусу. Для подводных аппаратов характерна «веретенообразная», хорошо обтекаемая форма корпуса, с центральной цилиндрической вставкой, постоянной по ширине. Струе ПУ

под воздействием набегающего потока сложнее примкнуть к корпусу АНПА;

З. Влияние свободной поверхности. У надводных судов ПУ расположены ближе к свободной поверхности, поэтому с увеличением скорости хода изменяется форма волнового профиля вдоль корпуса, что может сказываться на условиях работы ПУ. Для подводных объектов можно считать, что влияние свободной поверхности воды на работу ПУ отсутствует.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПУ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АНПА

Описанные выше особенности создают для надводных судов и подводных аппаратов разные условия работы ПУ. По этой причине некорректно использовать зависимости, характерные для надводных судов, при проектировании ПУ АНПА, а также при математическом моделировании динамики АНПА с использованием ПУ.

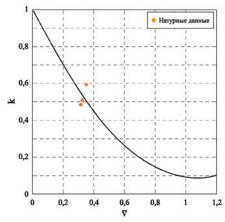
Таким образом, очевидно, что при проектировании АНПА есть потребность в верифицированной характеристике падения тяги ПУ. Возможные пути решения этой задачи следующие:

- 1. Проведение модельного эксперимента. Данный метод исследования представляется наиболее достоверным, однако при этом долгим по времени и дорогим. Поскольку стоимость АНПА на порядки меньше стоимости надводных судов или подводных лодок, проектирование АНПА в большинстве случаев выполняется в рамках ограниченного финансирования, не предусматривающего проведения дорогостоящих модельных испытаний по управляемости и ходкости в опытовых бассейнах.
- 2. Численное моделирование (Computational Fluid Dynamics). Данный метод исследования представляется менее достоверным, чем модельный эксперимент, поскольку требует верификации рассчитанных значений, и при этом достаточно долгий по времени.
- 3. Обработка результатов натурных испытаний. Данный метод является достаточно дешевым, поскольку требует лишь обработки уже и так записанных бортовой системой АНПА данных,

но при этом обеспечить необходимую точность крайне сложно, так как в натурных условиях на работу ПУ влияет множество «вредных» факторов (течение, скачки плотности воды, остаточная плавучесть аппарата и т. д.). Кроме того, использовать данный метод можно только после постройки АНПА, когда что-то менять и перепроектировать уже поздно.

4. Универсальная зависимость. Использование универсальной характерной зависимости является наиболее быстрым и простым для проектанта АНПА способом определения коэффициента падения тяги ПУ с точностью, приемлемой для начальных этапов проектирования. При этом следует учитывать, что такая универсальная зависимость справедлива только для определенной формы корпуса АНПА.

На основании результатов модельных и натурных испытаний, в том числе непосредственно полученных авторами статьи, была разработана зависимость для АНПА с формой корпуса, близкой к телу вращения «веретенообразной» формы, с носовой оконечностью в виде полусферы, переходящей к цилиндрической вставке, и ПУ, расположенном в начале цилиндрической вставки. Эта зависимость представлена на рис. 7, где дополнительно точками отмечены результаты сдаточных испытаний нового АНПА, проводившихся в 2023 г. Видно хорошее сов-



 $Puc. 7. Зависимость к от <math>\overline{v}$ для подводных объектов «веретенообразной» формы



Рис. 5. ПУ надводного судна



Рис. 6. Французский АНПА «Redermor», оснащенный ПУ

падение, что подтверждает корректность разработанной зависимости.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все рассмотренные в данной статье зависимости относятся только к одному частному случаю – прямолинейному движению надводного судна или подводного объекта с нулевым углом дрейфа.

Все другие маневры — циркуляция, погружение, всплытие, позиционирование, переходы по глубине — совершаются с переменными углами натекания потока жидкости на ПУ. В таком случае на тягу ПУ оказывает влияние уже другой набор гидродинамических эффектов, и она определяется другим набором зависимостей.

Таким образом, для полноценного проектирования АНПА недостаточно зависимости $k(\overline{\nu})$ при нулевом угле β . Необходим полный набор кривых $k(\overline{\nu},\beta)$ при изменении угла дрейфа в диапазоне от 0° до 360°. Авторами планируется продолжить исследования в данном направлении с целью разработки таких универсальных зависимостей, что безусловно будет представлять практический интерес.

ноября 2023 г. на 75-м году жизни Гайкович – профессор кафедры Проектирование судов Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, доктор технических наук, действительный член Академии военных наук, лауреат премии Ленинского комсомола, Почетный работник высшего профессионального образования, крупнейший ученый-кораблестроитель нашего времени, выдающийся методист, коллега, учитель и замечательный человек, добрый, отзывчивый и харизматичный.

По окончании с отличием в 1972 г. Морского технического университета (ЛКИ), а затем и аспирантуры Александр Иосифович поступил на кафедру Проектирования судов, где проработал более 50 лет, пройдя все ступени роста, защитив сначала кандидатскую (1977), а затем и докторскую (1991) диссертации. С 1997 по 2018 г. Александр Иосифович по совместительству был профессором кафедры Кораблестроения в Военноморском инженерном институте (ВВ-МИУ им. Ф.Э. Дзержинского).

Долгие годы он был ученым секретарем специализированного совета МТУ по защите докторских диссертаций, членом специализированных ученых советов Военно-морского политехнического института, НИИ Кораблестроения и вооружения Министерства обороны РФ.

Он – автор более 160 научных работ, посвященных разработке и развитию теорий проектирования судов. Среди множества написанных им учебных пособий

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены основные причины падения тяги ПУ надводных судов и подводных аппаратов. Приведены основные известные зависимости коэффициента падения тяги ПУ от относительной скорости. Рассмотрены основные методы получения таких зависимостей. Предложена характерная универсальная зависимость коэффициента падения тяги ПУ от относительной скорости для АНПА с хорошо обтекаемой «веретенообразной» формой корпуса, с носовой оконечностью в виде полусферы, переходящей к цилиндрической вставке, и ПУ, расположенным в начале цилиндрической вставки. Достоверность этой универсальной зависимости подтверждена результатами натурных испытаний нового аппарата, проводившихся в 2023 г., и может быть рекомендована для оценки эффективной тяги ПУ на начальных этапах проектирования АНПА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афремов А. Ш., Мартиросов Г. Г., Немзер А.И., Русецкий А.А., Сергеев В.В.,

- Шевцов С.П. Яковлев А.Ю. Средства активного управления судами: Монография/Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. А.А. Русецкого. СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр». 2016. 182 с.
- Карликов В.П., Шоломович Г.И. Некоторые особенности силового взаимодействия тел с потоком при истечении из них поперечных струй//Механика жидкости и газа. 1998. № 3. С. 18–24.
- 3. Лебедев Э.П., Першиц Р.Я., Русецкий А.А. и др. Средства активного управления судами. Л.: Судостроение, 1969. 264 с.
- Гофман А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна. – Л.: Судостроение, 1988. – 360 с.
- Beveridge J. Design and performance of bow thrusters. – Marine Technology and Sname News. 1971.
- Palmer A., Hearn G. E., Stevenson P. Modelling tunnel thrusters for autonomous underwater vehicles//IFAC Proceedings Volumes. 2008. №. 1 (41). P. 91–96.
- Васильев И.А., Вохминцев Д.А., Половко С.А. Возникновение сил сопротивления движению подводных роботов и других объектов морского базирования при работе подруливающих устройств//Робототехника и техническая кибернетика. – 2017. – № 1 (14). – С. 51–54.

ПАМЯТИ А.И. ГАЙКОВИЧА

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, контакт. тел. (812) 714 0761



и монографий главное место занимает двухтомный труд «Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов» (2014), появление которого стало знаковым событием в области кораблестроения.

На кафедре Проектирования судов МТУ и в военных институтах А.И. Гайковичем подготовлены 11 кандидатов и 1 доктор технических наук.

В 2016 г. Александр Иосифович Гайкович был награжден знаком «Почетный работник высшего профессионального образования». От Морского собрания Санкт-Петербурга ему вручен орден «За трудовую доблесть» 2-й степени. В числе его наград — медаль «За заслуги» (2018) от Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова», серебряная медаль А. Н. Крылова (2012), золотая медаль Петра Великого (2006), памятные медали НТО им. акад. А. Н. Крылова «150 лет академику А. Н. Крылову» (2013) и «150 лет НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова».

Глубокая эрудиция, принципиальность, любовь к своему делу, внимание к коллегам и студентам, дружелюбие и веселый нрав — все это снискало большое уважение и любовь к Александру Иосифовичу людей, которые его окружали.

А. И. Гайкович прожил очень насыщенную и очень интересную жизнь. Мы скорбим вместе с близкими и будем помнить его всегда.

Редакционная коллегия «Морского вестника», членом которой он являлся много лет, редсовет и редакция журнала выражают глубочайшее соболезнование родным и близким, друзьям и коллегам в связи с кончиной А.И. Гайковича, который навсегда останется в наших сердцах и нашей памяти.

ВВЕДЕНИЕ

ля обеспечения необходимых эксплуатационных характеристик (водоизмещение, остойчивость, снижение уровня электромагнитных полей и др.) при постройке корпусов кораблей, катеров и вспомогательных судов ВМФ отдельные конструкции (надстройки, рубки, переборки внутрикорпусных помещений) изготавливают из проката алюминиевых сплавов. Их монтаж на основном корпусе из стального проката выполняется при помощи биметаллических соединений и материалов.

Типовой работой при ремонте корпусных конструкций кораблей, катеров и вспомогательных судов ${\rm BM}\Phi$ и является ремонт монтажных соединений между стальными конструкциями и конструкциями из алюминиевых сплавов.

Применение проката из алюминиевых сплавов для отдельных корпусных конструкций (надстроек, рубок, переборок внутрикорпусных помещений) при постройке кораблей, катеров и вспомогательных судов ВМ Φ и соединение их со стальными корпусами конструктивно обеспечивается следующими переходными соединениями:

- заклепочными соединениями (прочно-плотными с электроразъемом);
- биметаллическими полосами в виде:
 - пакета Х18Н10Т АМг6;
 - биметалла марки КБМ-1 в виде пакета D40-1561 (ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»),

которые в процессе эксплуатации требуют ремонта для восстановления спецификационных характеристик.

Для объективности анализа сравним физические параметры соединяемых материалов (табл. 1 и табл. 2):

Таблица 1

Механические параметры

| Материал | σ _τ , ΜΠа | $\sigma_{_{\!\scriptscriptstyle B}}$, МПа | δ,% | Е, МПа | $\alpha_{L} \times 10^{-6} / \text{K(C}^{\circ})$ |
|----------|----------------------|--|-----|--------|---|
| 1561 | 180 | 330 | 12 | 71000 | 24,0 |
| 10ХСНД | 390 | 510 | 20 | 200000 | 12,0 |

Таблица 2

Электрохимический ряд напряжения металлов

| Материал | Mg (6%) | Al | Fe |
|-------------|---------|-------|-------|
| Потенциал В | -2,36 | -1,66 | -0,44 |

Соединение Al+Fe относится к категории ограниченно допустимых контактов.

Из приведенных данных видно, что стальные конструкции являются разрушителями по отношению к конструкциям из алюминиевых сплавов при их жестком соединении (электрохимическая коррозия; сталь, находясь в зоне упругих деформаций, доводит алюминиевый сплав в зону пластических деформаций).

На современном этапе рассмотрим четыре вида ремонта заклепочных соединений и ремонт соединений при помощи биметаллических полос.

РЕМОНТ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, РЕГЛАМЕНТИРУЕМЫЙ ТРЕБОВАНИЯМИ ОСТ 5.1031–86

Заклепочные соединения корпусных конструкций из алюминиевых сплавов, применяемых при постройке и ремонте судов и плавсредств всех типов, классов и назначений, выполняемых методом холодной клепки, регламентируются требованиями ОСТ5.1031–86 «Соединения заклепочные конструкций из алюминиевых сплавов. Классификация, нормы и технические требования».

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОРАБЛЕЙ, КАТЕРОВ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СУДОВ ВМФ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Тарановский, вед. инженер-технолог АО «51 ЦКТИС», контакт. тел. (812) 315 4945

Одним из показательных примеров эксплуатации и ремонта заклепочных соединений стальных конструкций с конструкциями из алюминиевых сплавов являются десантные корабли иностранной постройки.

В процессе освидетельствования десантных кораблей, находящихся в длительной эксплуатации, специалистами АО «51 ЦКТИС» было выявлено, что выход из строя заклепочных соединений надстройки из алюминиевых сплавов со стальными конструкциями верхней палубы в большинстве случаев является следствием коррозионного износа изза длительного отсутствия плановых заводских ремонтов (рис. 1, а и б).

a)





Рис. 1, а и б. Выход из строя заклепочных соединений надстройки из алюминиевых сплавов со стальными конструкциями верхней палубы вследствие коррозионного износа

При плавании десантного корабля в штормовых условиях из-за конструктивных особенностей носовой оконечности корпуса и осадки корабля возникает явление — слеминг, которое приводит к возникновению значительных циклических нагрузок в корпусных конструкциях корабля, что отражено на схеме нагрузки (рис. 2).

Особым случаем, имеющим косвенное отношение к данной теме, является возникновение механических разрушений (в основном трещин) заклепочных соединений конструкций носового барбета (где величина изгибающего момента корпуса близка к максимальной и дополняется ударными нагрузками) из алюминиевых сплавов со стальными конс-

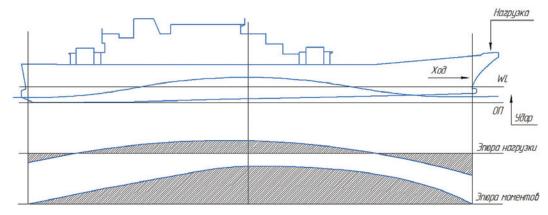


Рис. 2. Схема нагрузки корпуса корабля при постановке на волну

трукциями и самих конструкций из алюминиевого сплава, выполненных в сварном варианте.

При строительстве первых пяти корпусов десантных кораблей сборка основных несущих конструкций из алюминиевых сплавов надстройки первого яруса, носового барбета между собой и с конструкциями из стали выполнялась с использованием заклепочных соединений, в том числе набора на угловых соединениях, что обеспечивало их длительную безаварийную эксплуатацию.



Рис. 3, а и б. Сборка конструкций надстройки конструкциями из стали с использованием заклепочных соединений

При строительстве последующих заказов заклепочные соединения на конструкциях из алюминиевых сплавов были заменены на сварные, что привело к значительному увеличению случаев трещинообразования в корпусных конструкциях и, как следствие, снижению их эксплуатационного ресурса. Наиболее вероятной причиной повреждений является более высокая жесткость сварного соединения против заклепочного, которое обладает более высокой стойкостью к силовым вибрационным нагрузкам, а также благодаря некоторой подвижности сглаживает разницу по физическим параметрам соединяемых материалов. Также необходимо дополнительно отметить, что заклепочное соединение разъемное и используется для предотвращения распространения трещинообразования на корпусных конструкциях (например, заклепочные соединения ширстрека с палубным стрингером на крупнотоннажных наливных

Монтаж заклепок при ремонте заклепочных соединений судовых корпусных конструкций из алюминиевых сплавов со сталью в соответствии с требованиями ОСТ5.1031—86 на заказе выполняется ударным методом. Применение прессового метода (универсального для различных узлов заклепочных соединений) клепки на заказе в силу конструктивных особенностей объектов ремонта современным оборудованием невозможно или экономически нецелесообразно. Демонтаж заклепок на заказе, когда замены одного из соединяемых листов не требуется или нужна просто пере-

клепка, выполняется вручную с использованием механизированного инструмента.

На снимке (рис. 4) показан результат ремонта заклепочных соединений, регламентированный требованиями OCT5.1031–86.



Рис. 4. Результат ремонта заклепочных соединений, регламентированный требованиями OCT5.1031-86

Положительные факторы:

- вид ремонта, обеспечивающий наиболее высокий уровень восстановления эксплуатационного ресурса корпусных конструкций;
- соблюдение требований проектной документации.
 Отрицательные факторы:
- повышенная вредность условий труда (шум, вибрация) при выполнении ударной клепки;
- низкая степень механизации;
- высокая трудоемкость;
- дефицит квалифицированных специалистов-клепальщиков.

РЕМОНТ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ЗАМЕНОЙ ЗАКЛЕПОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА РЕЗЬБОВОЙ СТАЛЬНОЙ КРЕПЕЖ

По результатам фактически проведенных ремонтов было установлено, что замена заклепочного соединения на соединение при помощи резьбового стального крепежа (материал – сталь 20), в большинстве случаев положительного результата не дала. Возможная причина – нарушение первичного требования п. 2.2.4 ОСТ5.1031–86: «Материал заклепки для конструкций из алюминиевых сплавов разных марок подбирают по менее прочному сплаву». Для справки ниже приведены сравнительные данные механических параметров соединяемых материалов (табл. 3):

Таблица 3

Механические параметры

| Материал | σ,ΜΠа | $σ_{_{\scriptscriptstyle \rm B}}$,ΜΠа | δ,% | <i>E</i> ,МПа | НВ, МПа |
|----------|-------|--|-----|---------------|---------|
| 1561 | 180 | 330 | 12 | 71 000 | ≽40 |
| 20 | 245 | 410 | 25 | 200 000 | 163 |

Из приведенных данных видно, что стальной крепеж является практически режущим инструментом по отношению к конструкциям из алюминиевых сплавов (рис. 5, a и δ). На рис. 5, a видно, что замена лишь нескольких заклепок из алюминиевого сплава на стальной крепеж привела к возникновению трещины.

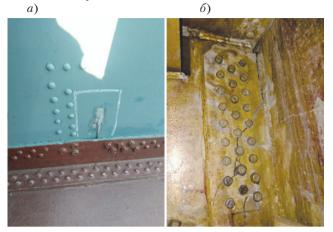


Рис. 5, а и б. Использование стального крепежа в конструкциях из алюминиевых сплавов

Положительные факторы:

- отсутствие необходимости в наличии квалифицированных специалистов-клепальщиков;
- улучшение условий труда (шум, вибрация);
- отсутствие необходимости для проектанта разрабатывать изменения конструкционных узлов корпусных конструкций и корректировать документацию.

Отрицательные факторы:

- низкая степень механизации;
- высокая трудоемкость;
- даже при качественном выполнении работ низкий уровень восстановления эксплуатационного ресурса корпусных конструкций.

РЕМОНТ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ЗАМЕНОЙ ЗАКЛЕПОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА БОЛТ-ЗАКЛЕПКИ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ХВОСТОВИКОМ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Одним из вариантов снижения трудоемкости выполнения работ на этапе монтажа является замена ударных заклепочных соединений на безударные болт-заклепочные (диаметр – до 10 мм включительно по ОСТ 1 30040–83), разработанных для силовых соединений конструкций под виброактивную нагрузку с обеспечением мобильным (переносным) постановочным оборудованием. Для наглядности в качестве примера приводим вариант болт-заклепки с технологическим хвостовиком и обжимным кольцом (рис. 6)



Puc. 6. Болт-заклепка с технологическим хвостовиком и обжимным кольцом

Исполняются как в стальном варианте, так и из алюминиевых сплавов, на прижимных поверхностях шляпки болта-заклепки или бурта обжимного кольца для герметизируемых соединений делаются проточки для заполнения герметиком, который при обжиме заполняет зазор между крепежом и поверхностью отверстия.

Одним из вариантов переносного постановочного оборудования для болт-заклепочных соединений является пневмогидравлический заклепочник для обжимных болтов диаметром 6,4—10 мм с гидростанцией RIV511B (рис. 7).



Рис. 7. Пневмогидравлический заклепочник для обжимных болтов диаметром 6,4 – 10 мм

Пневмогидравлическая клепальная машина RIV511B с усилителем предназначена для монтажа болт-заклепок с технологическим хвостовиком диаметром 6,4—10 мм и состоит из алюминиевой рукояти инструмента, соединенной шлангами с блоком управления, в котором размещены усилитель и масляный бак. Поставляется без монтажного набора (насадки для инструмента под нужный диаметр). Монтажные наборы поставляются отдельно.

Технические характеристики пневмогидравлической клепальной машины RIV511B

| Тяговое усилие (при 6 бар),кН40 | |
|---------------------------------------|---|
| Ход штока, мм | |
| Рабочее давление, бар6 | |
| Вес маслонагнетательной станции, кг28 | |
| Вес рукоятки инструмента, кг | |
| Вид заклепкиОбжимна | я |

Положительные факторы:

- снижение трудоемкости монтажных работ (отсутствие необходимости изготовления, монтажа-демонтажа временных упоров, стяжек, низкая трудоемкость монтажа болт-заклепочного соединения);
- улучшение условий труда (шум, вибрация);
- отсутствие необходимости для проектанта разрабатывать изменения конструкционных узлов корпусных конструкций и корректировать документацию.

Отрицательные факторы:

- необходимость приобретения дорогостоящего дополнительного оборудования и расходных материалов (в настоящее время в основном импортного производства);
- необходимость обучения технологического и рабочего персонала (при приобретении оборудования попадающего под требования Ростехнадзора).

РЕМОНТ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗАМЕНОЙ НА СОЕДИНЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПОЛОСАМИ

При необходимости замены заклепочного соединения в полном объеме для конструктивно замкнутого участка вариантом вида ремонта становится соединение при помощи биметаллической полосы 1561/D40 марки КБМ-1 (ТУ 5.961-11500–2001), разработанной ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» и сертифицированной РМРС, выполняемая сваркой (РД5.УЕИА.3374-2003). Применение данного варианта для участка, размыкающего заклепочное соединение, с

соблюдением требований ОСТ 5.1031–86, не представляется возможным.

Применение данного варианта ремонта с помощью биметаллических полос возможно лишь при полной замене заклепочных соединений, что было подтверждено ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» в ответе (письмо № 42/05-08/31 от 24.01.2023) на запрос АО «51 ЦКТИС» (письмо № 52А-2/36 от 17.01.2023). Дополнительно приводится следующая информация (см. табл. 4)

Таблица 4 Технические показатели биметаллических соединений и примечания

| Соединение и способ изготовления | Характеристика и примечания |
|--|--|
| Биметалл марки КБМ-1 | Производства ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» (освидетельствовано РМРС) |
| Область применения | Судостроительные корпусные конструкции |
| Способ изготовления | Совместная прокатка с одно- компонентным деформирова- нием алюминия |
| Толщина пакета, мм | 8 – 12 |
| Состав (толщина): – алюминиевый слой – промежуточный слой – стальной слой | Сплав марки 1561 (4 – 7 мм) Сплав марки АД1 (0,3 мм) Сталь типа D40 (4 – 5 мм) |
| Конструктивное исполнение | Традиционное (КБМ-1Т) комингсное (с выступающим стальным слоем, КБМ-1К) |
| Прочность сцепления слоев, МПа: – на отрыв – на срез | ≥ 100 ≥ 55 |
| Коррозионная стойкость | На уровне судокорпусных материалов |
| Одобрение применения | РМРС, приемка L [.] R |

Преимущества биметалла в новом, не имеющем аналогов, в том числе комингсном, исполнении, позволяет:

- снизить трудоемкость сборочно-сварочных работ на 40
 60%:
- повысить усталостную прочность стале-алюминиевых узлов на 15-20%;
- использовать способы сварки в среде CO₂ взамен Ar;
- обеспечить коррозионную стойкость сварных сталеалюминиевых соединений.

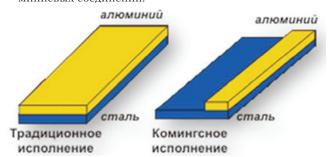
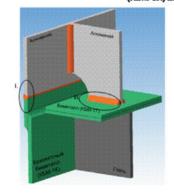


Рис. 8. Биметаллические полосы «алюминий – сталь» марки КБМ-1

ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» разработало технологию сварки сталеалюминиевых соединений с применением биметалла марки КБМ-1 (рис. 8) и выпустило необходимую нормативно-техническую документацияю (РД5. УЕИА.3374-2003 «Сварка в защитных газах корпусных конструкций из стали и алюминиевых сплавов с применением биметаллических полос марки КБМ-1. Основные положения»).

ТИПОВЫЕ СВАРНЫЕ СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫЕ УЗЛЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАДИЦИОННОГО (КБМ-1Т) И КОМИНГСНОГО (КБМ-1К) БИМЕТАЛЛА



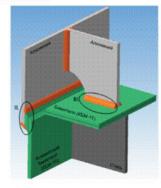


Рис. 9. Варианты соединения алюминиевой стенки с алюминиевым слоем биметалла: I-стыковое, II-нахлесточное, III-тавровое

Варианты соединения алюминиевой стенки с алюминиевым слоем биметалла: стыковое, нахлесточное, тавровое (рис. 9):

Положительные факторы:

- снижение трудоемкости по полному комплексу работ (биметаллическая полоса сама по себе готовая сборка вместо заклепочного узла сборки, формируемого в условиях заказа);
- улучшение условий труда (шум, вибрация);
- наличие необходимого технологического оборудования, подготовленного технологического и рабочего персонала (на СРЗ уже имеются необходимые сварочное оборудование и квалифицированный персонал).
 - Отрицательные факторы:
- необходимость для проектанта разрабатывать варианты изменения конструкционных узлов корпусных конструкций и корректировать документацию;
- высокая стоимость биметалла марки КБМ-1.

РЕМОНТ СОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛОС

Соединения с использованием биметаллических полос в виде пакета X18Н10Т-АМг6 (ТУ 1-9-1021-2008; И 74-0102-50-85) и биметалла марки КБМ-1 в виде пакета D40-1561 (ТУ 5.961-11500-2001; РД5.УЕИА. 3374-2003) ремонтируются с применением тех же биметаллических полос. В данном случае вопрос заключается в выборе варианта биметаллической полосы. Немаловажное значение имеет наличие сертификата РМРС, если этот элемент во главе угла – выбор очевиден (табл. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нормативный документ (стандарт, руководящий документ), регламентирующий основные положения технологии (типовые технологические процессы), в том числе допускающей замену ударных заклепочных соединений на безударные болт-заклепочные, применение биметаллических материалов и их видов для ремонта (устранения дефектов, возникших в результате длительной эксплуатации) заклепочных соединений и соединений при помощи биметаллических полос судовых корпусных конструкций из алюминиевых сплавов со сталью, видов дефектов и допустимых норм износа на настоящий момент времени отсутствует, поэтому решение об использовании вышеуказанных вариантов остается за проектантом.

Единого решения для всех вариантов ремонта нет, для каждого конкретного случая следует учитывать обеспечение приоритетных технических и эксплуатационных характеристик.

| Марка материала | сцепл слоев, І | ность пения МПа, не нее | | Одобрение применения в корпусном судостроении | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|----------------------------------|--|------------------|
| | На отрыв | На срез | Коэф- фициент прочности | Усталостная долговечность (σmax=50 МПа, ρ = 0,33), циклы | Материалоем- кость на 1 пм | Непроницае- мость | Коррозионная стойкость | |
| Nobelclad «Pechiney», Франция | 70 | 55 | 0,7 | 500 000 | 7,7 | Нет (заделка гер- метиком) | На уровне судокорпусных материалов | L·R BV DNV |
| X18Н10Т – АМг6 | 100 | 55 | 0,7 | 320 000 | 2,2-2,4 | Нет (заделка гер- метиком) | Низкая | Нет |
| КБМ-1 | 100 | 55 | 0,8 | ≽2 000 000 | 1,7-2,4 | V класс герме- тичности | На уровне судокорпусных материалов | PMPC MBK-1 |

Приложение 2 ОСТ 5.1031–86 учитывает только способы устранения дефектов, возникающих при формировании заклепочного соединения.

Сроки плановых ремонтов большого количества новых кораблей, катеров и вспомогательных судов ВМФ, которые появились в дополнение к находящимся в строю, со стальными корпусами, которые соединяются с корпусными конструкциями из алюминиевых сплавов при помощи биметаллических соединений различных видов, наступят уже в ближайшем будущем. В связи с этим на ремонтных предприятиях уже сейчас необходима специальная подготовка.

С учетом изложенного, назрела также необходимость:

1) совместно проектантам и ремонтникам обобщить опыт эксплуатации кораблей, катеров и вспомогательных судов ВМФ со стальными корпусами, которые соединяются с корпусными конструкциями из алюминиевых сплавов при помощи биметаллических соединений различных видов для выявления типовых дефектов и причин их возникновения с привязкой к видам соединений и их функциональному назначению для разработки мероприятий по их устранению;

2) разработать методы дефектации (в том числе определения видов дефектов и их допускаемых величин), ремонта заклепочных соединений судовых корпусных конструкций из алюминиевых сплавов со сталью с применением новых технологического оборудования, технологий (замена ударного метода, механизация как выполнения клепаного соединения, так и демонтажа заклепок дефектного клепаного

соединения в условиях заказа и т.д.) и новых материалов, в том числе методом замены на сварные соединения, которые обеспечат необходимые эксплуатационные характеристики и снижение совокупных затрат на ремонт;

3) разработать нормативный(ные) документ(ы) (стандарт, руководящий документ), регламентирующий основные положения технологии (типовые технологические процессы) ремонта (устранения дефектов, возникших в результате длительной эксплуатации) биметаллических соединений судовых корпусных конструкций из алюминиевых сплавов со сталью, учитывающего результаты п. 1, 2.

ЛИТЕРАТУРА

- ОСТ 5.1031–86. Соединения заклепочные конструкций из алюминиевых сплавов. Классификация, нормы и технические требования.
- 2. ОСТ 1 30040-83. Соединения болт-заклепочные.
- 3. ТУ 5.961-11500-2001. Полосы биметаллические КБМ-1.
- РД5.УЕИА.3374–2003. Сварка в защитных газах корпусных конструкций из стали и алюминиевых сплавов с применением биметаллических полос марки КБМ-1. Основные положения.
- ТУ 1-9-1021–2008. Листы биметаллические. Алюминиевый сплав АМг6 – сталь 12X18Н10Т общего назначения. Технические условия.
- 6. И 74-0102-50-85.Изготовление судовых корпусных конструкций из алюминиевых сплавов и стали с применением биметаллических вставок. ■

августе 2023 г. на территории конгрессно-выставочного центра «Патриот» (далее – КВЦ «Патриот») проведен очередной Международный военно-технический форум «Армия—2023» (далее – МВТФ «Армия—2023»), где собрались ведущие специалисты оборонно-промышленного комплекса (далее – ОПК). Данное мероприятие является самым масштабным в оборонно-промышленной сфере. На территории КВЦ «Патриот» были представлены новейшие комплексы вооружений и обеспечивающей техники. Для специалистов организованы деловая и демонстрационная программы.

В рамках деловой программы Научно-исследовательским институтом спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» (далее — НИИ СиПТ) был организован «круглый стол» на тему «Совершенствование образцов морской спасательной техники в современных условиях».

Необходимо отметить, что институт является головной научно-исследовательской организацией в области формирования и развития системы подводно-спасательных работ, предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на море и водных бассейнах России; специалисты института участвовали во всех крупных работах по судоподъему.

На «круглом столе» выступали также представители разных отраслей, работающие в области спасения и создания спасательной техники, в том числе федерального государственного бюджетного учреждения «Морская спасательная служба»; Научно-исследовательского института прикладной акустики; Научно-исследовательского института резиновых покрытий и изделий; Рыбинского проектно-конструкторского бюро; Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»; морской инжиниринговой компании «Аква-Сервис», также представители компаний-поставщиков специального оборудования «Тетис Про» и «Флаг Альфа».

В представленных докладах были озвучены вопросы проектирования (бюджетного и инициативного), строительства судов специального назначения, поставок специального оборудования и многое другое.

Участники «круглого стола» отмечали, что при решении вопросов спасения на воде, особенно в условиях северных морей, счет времени идет на минуты, поэтому спасательные службы должны работать как единая система, а все необходимые процессы интегрированы в единый управляющий орган, обладающий необходимыми компетенциями (специалистами), ресурсами (материально-техническим обеспечением) и полномочиями (правовой базой). Данные функции могло бы взять на себя НИИ СиПТ.

СУДОПОДЪЕМНЫЙ КОМПЛЕКС КАК ЭЛЕМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

С.А. Шиляев, аспирант СПбГМТУ, гл. конструктор специализации—руководитель отделения, Г.В. Федотов, аспирант СПбГМТУ, начальник сектора, М.Ю. Солеев, аспирант СПбГМТУ, инженер-конструктор 1-й категории, АО «СПМБМ «Малахит», контакт. тел. (812) 242 8580

Основными целями поисково-спасательных работ, конечно, являются предупреждение аварий и осуществление аварийно-спасательных работ, оказание помощи судам, терпящим бедствие. «Особняком» стоят работы по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на море, а именно подъем затонувших объектов. Пристальное внимание в данном случае важно обратить на Арктический регион.

Конец лета 2000 г. для России был отмечен трагическим событием, произошедшим в водах Баренцева моря – атомная подводная лодка «Курск» (К-141) в ходе проведения учений получила повреждения и затонула. Для страны было делом чести подъем корабля для установления причин трагедии. Однако прошедшие с большими потерями сквозь годы «перестройки» советские/российские ВМФ и промышленность оказались не в состоянии собственными силами осуществить сложнейшую операцию подъема гигантской АПЛ. К участию в ней были привлечены зарубежные фирмы, главную роль среди которых сыграла голландская компания Mammoet Transport BV, разработавшая детальный план подъема.

В подъеме АПЛ «Курск» (К-141) были задействованы:

- НИС «Академик Келдыш» (российское оборудование);
- глубоководные аппараты «МИР» и «Приз» (российское оборудование);
- специальная полупогружная платформа «Regalia» норвежской фирмы «Halliburton»;
- баржа «Carrier» с оборудованием для резки;
- норвежское судно «Seaway Eagle»;
- водолазное судно «Мауо» шотландской фирмы «DSND»;
- буксиры;
- гигантская несамоходная баржа «Giant-4»;
- плавучий док (российское оборудование);
- понтоны [1,2].

Полный список используемого оборудования исчисляется сотнями пози-

ций. Как видно, для реализации подобных проектов требуется комплексный подход, в основе которого должен быть судоподъемный комплекс.

Совместные работы по подъему АПЛ «Курск» были успешно завершены 25 октября 2001 г. осушением дока. Подобное успешное взаимодействие российских и зарубежных фирм привело к выполнению проработок по подъему, транспортировке и постановке в плавучий док затонувших подводных лодок K-27 (место затопления — Карское море, залив Степового) и Б-159 (место затопления — Баренцево море, около о. Кильдин).

Подъем вышеуказанных подводных лодок преследует важные цели — сохранение экологии Арктического региона, безопасности природных ресурсов, так как данные объекты являются ядернои радиационно-опасными. При проектировании рассматривались производственные мощности той же самой голландской компании Mammoet Transport BV. По ряду организационных и экономических проблем данные работы не нашли продолжения.

В настоящее время (в отличие от начала 2000-х гг.) политическая обстановка в мире изменилась, многочисленные санкции, наложенные на нашу страну со стороны западных «партнеров», ограничения доступа к современным технологиям свидетельствуют о необходимости развития собственных судоподъемных комплексов. Рассчитывать на помощь зарубежных фирм не приходится.

Подъем вышеуказанных подводных лодок станет возможным при совершенствовании технологий подъема крупногабаритных затонувших объектов с опасными источниками. Безусловно, проведение подобных судоподъемных работ требует значительного финансирования и без участия государства в современных реалиях невозможно.

При разработке перспективного судоподъемного комплекса необходимо использовать международный опыт, а также учитывать фактическое состояние затонувшего объекта (в случае с АПЛ К-27 и Б-159 особенно важно);

фактическую информацию о районе затопления.

В конструкции судоподъемных комплексов в обязательном порядке необходимо «закладывать» модульность, так как габариты поднимаемых объектов могут сильно отличаться. Каждый судоподъем уникален и требует доскональной проработки, оценки рисков и согласования с профильными организациями.

Но предметом данной статьи является не анализ и выбор конструкции перспективных судоподъемных комплексов, а организация работ, прежде всего централизация ресурсов, определения «узких» мест, подготовка правовой базы.

Отечественная промышленность готова к новым вызовам и совместно с государственными структурами способна реализовать планы по очистке береговой черты и дна Арктического региона. Получив бесценный опыт работы здесь, масштабные планы можно будет распространить на более удаленные регионы нашей страны и устранить последствия аварий кораблей ВМФ и судов в 90-е гг., брошенных и затопленных.

Кроме того, результатом выполненных работ может стать формирование подходов к организации судоподъемной операции АПЛ «Комсомолец» (К-278), покоящейся на дне Норвежского моря на большой глубине.

Анализ проведения последних аварийно-спасательных работ на воде показал, что материально-техническое обеспечение (далее – МТО) становится одним из ключевых вопросов. Необходимо сосредоточиться на создании единой базы МТО, которое можно использовать для проведения аварийно-спасательных работ, в частности:

- спасательных судов и судов специального назначения (с указанием мест базирования, технических характеристик и дат поверок основного оборудования лебедок, спускоподъемных устройств и др.);
- плавкранов (с указанием мест базирования, технических характеристик и дат поверок);
- плавучих доков;
- телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (с указанием мест базирования, технических характе-

ристик и состояния основного оборудования — телевизионного комплекса, манипуляторных комплексов и др.);

- понтонного парка;
- стропов судоподъемных диаметром от 50 мм;
- найтовов диаметров от 15 мм;
- захватов штокового устройства;
- скоб такелажных (г/п от 100 т) и др.

Проведение вышеназванного «круглого стола» показало, что подобная работа начата и будут продолжена разработка концепции государственной программы под руководством специалистов НИИ СиПТ ВУНЦ ВМФ «ВМА» и ее реализация.

ЛИТЕРАТУРА

- Мормуль Н.Г. Запас плавучести: Документальная хроника. Петрозаводск: Республиканская типография им. П.Ф. Анюхина, 2003
- Спасский И.Д. «Курск». После 12 августа 2000 года. – М.: Изд-во Русь, 2003.
- https://ru/wikipedia.org/wiki /КатастрофаАПЛ«Курск»
- 5. https://lenta.ru/articles/2022/08/12/kursk/

рассмотрим иллюминаторы, герметичность и напряженное состояние которых, близкое к трехосному сжатию, обеспечиваются обжимной шайбой и деформацией обоймы.

В данной работе обобщены результаты экспериментального исследования влияния параметров обоймы иллюминаторов (рис. 1) высокого давления со светопрозрачным элементом в форме диска на его несущую способность.

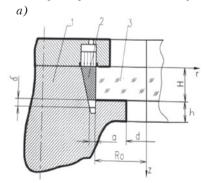
В работе [4] отмечено, что несущая способность иллюминатора в равной степени определяется как методом соединения, геометрическими параметрами обоймы, так и качеством материала стеклоэлемента и точностью изготовления. В работе [3] приведена единая методика оценки необходимых параметров обоймы иллюминаторов со сферическим стеклоэлементом. Определение необходимых параметров для изделий в случае

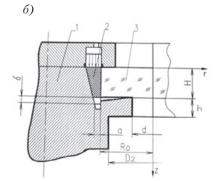
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ОБОЙМЫ ИЛЛЮМИНАТОРОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ СО СТЕКЛОЭЛЕМЕНТОМ В ФОРМЕ ДИСКА

В.П. Лянзберг, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, начальник науч. группы МАИ (Национального исследовательского университета), Н.М. Вихров, д-р техн. наук, проф., ген. директор ЗАО «Канонерский судоремонтный завод», контакт. тел. + 7 (925) 680 2653

применения светопрозрачного элемента в форме диска из неорганического стекла является более сложным. В таких иллюминаторах обоймы можно разделить на три основные группы (рис. 1, $a-\varepsilon$). К первой группе (рис. 1, a) отнесем обой-

мы с незначительной деформацией как цилиндрической, так и опорной части, по сравнению с прогибом стеклоэлемента. Опорное основание обоймы второй группы (рис. $1,\delta$) имеет увеличенную скачкообразно толщину на диаметре D_2 .





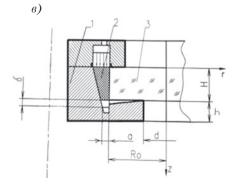
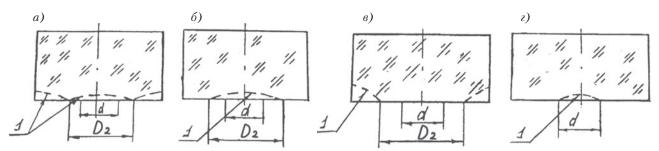


Рис. 1. **Возможные варианты обоймы (a-в) иллюминаторов со светопрозрачным элементом в форме диска** 1 – обойма иллюминатора, 2 – обжимная шайба, 3 – цилиндрический стеклоэлемент



 $Puc.\ 2.\ Bозможные$ виды разрушения стеклоэлементов иллюминаторов при оптимальном подборе параметров обоймы и d=0.5D

1 — трещина, возникающая в момент нарушения целостности стеклоэлемента

При этом на площади опорного основания с меньшим диаметром d и большим значением диаметра D_2 деформации стекоэлемента и опорного основания одного порядка, а на участке $D-D_2$ осевое смещение опорного основания и радиальное смещение цилиндрической части обоймы иллюминатора в 5-10 раз меньше осевого смещения светопрозрачного элемента. Иллюминаторы третьей группы (рис. 1, θ) имеют деформацию одного порядка стеклоэлемента и опорной и цилиндрической части обоймы.

Выводы сделаны на основании анализа экспериментальных исследований иллюминаторов, имеющих диаметр на просвет d = 0.5D и d = 0.7D (здесь $D = 2R_0$ – диаметр стеклоэлемента). Соотношение d = 0.7D определено ГОСТ [5]. При соотношении d = 0.5D характер разрушения стеклоэлементов из органического и неорганического стекла оказался идентичным [1]. Светопрозрачные элементы выполнялись из стекла К8 диаметром 120 мм, без упрочнения поверхностного слоя, обжимные шайбы – из органического стекла СО120. Испытания проводились при кратковременном, длительном и циклическом нагружениях. Во всех группах использовались обжимные шайбы с первоначально одинаковым натягом. В этом случае после гидростатического нагружения давлением разрушение стеклоэлемента происходит без нарушения герметичности, несмотря на образование трещины в стеклоэлементе. Трещина со стороны опорного основания возникает в момент достижения давления P_1 .

выводы

Для иллюминаторов с обоймой первой группы величина давления P_1 , при котором происходит нарушение целостности стеклоэлемента, определяется только параметрами обжимной шайбы. Для исследованных образцов величина разрушающего давления при кратковременном нагружении составила $20-25\,$ МПа. Характер разрушения светопрозрачного элемента показан на рис. 2, z. На рис. 2, z пунктирной линией обозначена трещина, возникающая в момент нарушения целостности стеклоэлемента при давлении P_1 .

Для иллюминаторов с обоймами второй группы определить возможность

увеличения давления P_{+} без нарушения целостности стеклоэлемента, точно рассчитав в процессе эксперимента оптимальные параметры D_2 , d, толщины h опорного основания на участке $d-D_2$, угол конусности опорной поверхности основания В. В этом случае, как показали полученные результаты, стеклоэлемент может выдержать давление, увеличенное в 2,5-3 раза. Экспериментальные исследования этой группы образцов подробно описаны в работе [6]. Особо следует отметить, что диаметр D_2 определяется не возможными конструктивными особенностями, а несущей способностью стеклоэлемента. Обоймы такого вида имеет смысл применять в случае, если отношение светового диаметра d обоймы к диаметру стеклоэлемента D находится в пределах 0,55-0,40.При оптимальном подборе всех параметров величина давления нарушения целостности P_1 с = 55-60 МПа. Возможные формы разрушения стеклоэлементов этой группы иллюминаторов показаны на рис. 2, a-e. При значении $d \le 0.7D$ незначительные отклонения указанных параметров от оптимальных приводят к значительному уменьшению разрушающего давления P_1 .

Для иллюминаторов третьей группы напряженное состояние стеклоэлемента возникает в результате деформации всей обоймы. Поэтому существенное значение для увеличения P_1 также имеет точное определение толщины и высоты цилиндрической части обоймы иллюминатора h_1, h_2 , световой диаметр d, толщины опорного основания h, угол конусности опорной поверхности основания β. Возможен такой подбор геометрических параметров этих величин, при котором угол конусности опорного основания обоймы β = 0. В случае использования обоймы диаметром на просвет d = 0.5Dпри оптимальном подборе вышеперечисленных параметров для конструкций обоймы третьей группы величина P_1 = 55-60 МПа, при d = 0.7D давление $P_{4} = 40-45 \text{ M}$ Па. Характер нарушения целостности светопрозрачного элемента этой группы иллюминаторов показан на рис. 2, г. Нарушения герметичности в момент нарушения целостности стеклоэлемента при гидростатическом нагружении не происходит.

Величина передаваемых на боковую поверхность стеклоэлемента сжимающих усилий во всех группах обеспечивается осевым смещением обжимной шайбы на всех этапах

Поэтому глубина канавки б обоймы и угол конусности α зависят от длительности воздействия t максимальным давлением $P(P < P_{\bullet})$. Чем больше значения t, P, тем больше должны быть величины δ и а. В случае ограничения осевого смещения шайбы возможно ослабление натяга при длительном нагружении и уменьшение давления разрушения P, изменение характера разрушения и потеря герметичности. Минимально допустимое значение толщины обжимной шайбы определяет максимальные сжимающие напряжения, передаваемые на боковую поверхность стеклоэлемента. Поэтому значения б, а и минимальный диаметр конической поверхности обоймы иллюминатора являются его важными параметрами. Методика определения осевого смещения обжимной шайбы при кратковременном нагружении приведена в [2].

ЛИТЕРАТУРА

- Вихров Н. М., Лянзберг В. П. Некоторые общие подходы к проектированию иллюминаторов высокого давления//Морской вестник. – 2017. –№ 2 (63). – С. 31.
- Вихров Н. М., Лянзберг В. П. Определение параметров обжимной шайбы иллюминаторов высокого давления//Морской вестник. – 2018. – № 3 (67). – С. 48.
- 3 Вихров Н.М., Лянзберг В.П. О разработке сферического иллюминатора с учетом деформации обоймы//Морской вестник. 2021. № 3 (79). С. 61.
- Лянзберг В.П., Вихров Н.М. Иллюминаторы высокого давления: учет взаимного смещения элементов конструкции/Морской вестник. 2022. Ч. 1. № 3 (83). –
- Лянзберг В.П., Вихров Н.М. Иллюминаторы высокого давления: учет взаимного смещения элементов конструкции/Морской вестник. 2022. Ч. 2. № 4 (84). С. 41.
- 6. Лянзберг В.П., Шалашилин В.И. Иллюминаторы высокого давления со светопрзрачным элементом в форме диска из неорганического стекла//Вестник МАИ. 2002. Т. 9. С. 51–56.
- ГОСТ Р 52123–2003. Иллюминаторы для водолазных барокамер с рабочим давлением до 4,9 МПа. Общие технические условия.

ктуальность темы исходит от все более широкого распространения программного обеспечения с алгоритмами искусственного интеллекта в жизни общества, в том числе и в экономической деятельности, что является отображением естественного процесса технического и общественного развития человечества.

Определим реальную потребность общества в особом виде программного обеспечения – искусственных нейронных сетях (ИНС). С этой целью рассмотрим план развития экономики судостроительной промышленности (табл. 1).

Как видно из таблицы, между двумя сценариями постройки судов на 2021-2025 гг. разница достигает 32%. И такая стратегия Правительством РФ разрабатывалась до введения экономических санкций 2022 г. А если учесть очень высокий процент импортного оборудования, то становится очевидным тот факт, что реальные цифры будут еще более «печальными». При этом импортозамещающая продукция не наращивалась заранее, поэтому с особой остротой встала проблема привлечения свежих кадров в отрасль, обеспечивающую судостроение оборудованием. В настоящее время в условиях все возрастающей потребности в быстром реагировании на меняющиеся условия окружающей среды, при массовом снижении уровня качественного технического образования, применение ИНС способно стать новым мощным инструментом в решении экономических и социальных проблем, в том числе эффективного решения производственных и изобретательских задач.

К настоящему времени в мировой практике уже имеется опыт применения ИНС в области прогнозирования и концептуального моделирования применительно к отраслям машиностроения, судостроения, авиастроения, строительства недвижимости и ведению бизнеса вообще. Так, например, еще в 1994 г. на 8-й Международной конференции по компьютерным приложениям в судостроении, проходившей в г. Бремен (ФРГ), экспертной комиссии была представлена предварительная структура проектирования судна, которая состояла из набора взаимосвязанных нейронных сетей (многослойных персептронов), проходящих контролируемое машинное обучение. Модель генерировала на основе требований судовладельца набор основных размеров, коэффициентов формы с оценками стали, снаряжения и веса оборудования, потребляемой мощности, вместимости и прочих характеристик. Модифицированный алгоритм Марквардта-Левенберга был реализован для минимизации ошибки в прогнозировании, что позволило ускорить обучение

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ КАК ИНСТРУМЕНТОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Т. М. Григорьев, строитель кораблей АО «Адмиралтейские верфи», преподаватель СПбГМТУ, контакт. тел. +7 (981) 716 0633, +7 (999) 250 2154

Таблица 1 Разница между инновационным и консервативным планом развития судостроения РФ (2019 г.)

| Годы | Кол-во судов, постройка которых запланирована по сценарию | | | | | | |
|------------|---|-----------------|--|--|--|--|--|
| | инновационному | консервативному | | | | | |
| 2021- 2025 | 152 | 104 | | | | | |
| 2026-2030 | 101 | 86 | | | | | |
| 2031-2035 | 101 | 74 | | | | | |

сети. Таким образом, модель нейронной сети в рамках предварительного проектирования может быть использована для быстрой оценки конструкции судна. Проект контейнерного судна был взят для иллюстрации принципов проектирования и поведения модели нейронной сети в рамках проектирования судна.

В настоящее время все чаще в качестве ИНС применяют алгоритм глубокого обучения (Generative Pre-trained Transformer, GPT или AГО), который сначала использовался для задач обработки естественного языка, таких как языковой перевод, суммирование текста и генерация текста. Однако ИНС АГО начал использоваться и для генерации последовательности технологических операций по подготовке производства на верфях. Такой подход может помочь оптимизировать производственный процесс и сократить производственные затраты и время планирования. Помимо этого, для улучшения принятия решений ИНС может предоставлять конкретные ответы на запросы исполнителей работ, что может помочь улучшить процесс принятия решений в судостроении. Также ИНС может способствовать бесперебойной коммуникации между различными сторонами, участвующими в производстве: проектными организациями, инженерными службами завода и контрагентскими организациями. Это может помочь улучшить сотрудничество и обеспечить соблюдение сроков произволства.

О том, что собой реально представляет ИНС, можно узнать, изучив структурные и функциональные особенности инструментов адаптивного управления. По сути — это математическая модель,

а также ее программное или аппаратное воплощение, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге, и при попытке смоделировать эти процессы. После разработки алгоритмов обучения получаемые модели стали использовать в практических целях: в задачах прогнозирования, для распознавания образов, в задачах адаптивного управления и др.

ИНС представляет собой систему соединенных и взаимодействующих между собой процессоров (искусственных нейронов). Такие процессоры обычно довольно просты (особенно в сравнении с процессорами, используемыми в персональных компьютерах). Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. И, тем не менее, будучи объединенными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, такие по отдельности простые процессоры вместе способны выполнять довольно сложные задачи.

С точки зрения кибернетики, нейронная сеть используется в задачах адаптивного управления и как алгоритмы для робототехники. Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются. Возможность обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обуче-

ния нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Это значит, что в случае успешного обучения сеть сможет выдать верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, как вариант - сгенерировать новую технологию на основании типовых технологических процессов, уже имеющихся в базе данных инженерной службы любого завода. Тогда для обучающего ИНС инженера необходим набор компетенций, позволяющий ему наиболее эффективно формулировать запросы - подсказки («промпты») для формирования входных сигналов на искусственных нейронах.

Набор основных компетенций у промпт-инженера для формирования запроса должен быть следующим:

- знание логики работы алгоритмов ИНС;
- умение формулировать цели и задачи;
- умение творчески мыслить;
- умение редактировать информацию и отфильтровывать правду от ошибочных ответов.

Таким образом, «машина» будет делать рутинные нетворческие процессы,

хотя и с элементами адаптивных вариаций, а человек — формулировать и задавать задачи, задавать достойные цели и «фильтровать» ответы.

Для формирования заявленных компетенций необходимо массовое внедрение в школах и университетах обязательных инженерно-технических дисциплин, например теории развития технических систем (ТРТС), и развивающих творческое мышление дисциплин на базе теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), например теории развития творческой личности (ТРТЛ).

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

- Прогнозирование скорости судна в условиях эксплуатации на основе искусственной нейронной сети для оптимизации эксплуатации – Daily-Direct – https://www.sciencedirect.com /science/article/pii/S0029801823009976, дата обращения 24.10.2023 г.
- 2. Использование набора искусственных нейронных сетей для прогнозирования дополнительного сопротивления головным волнам на стадии параметрического проектирования судна DailyDirect https://www.sciencedirect.com/science/article/pii

- /S0029801823011289, дата обращения 24 10 2023 г
- 3. Применение искусственных нейронных сетей для моделирования скорости судна и расхода топлива https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-020-05111-2, дата обращения 24.10.2023 г.
- 4. Прогнозирование сопротивления судна с помощью искусственных нейронных сетей IEEE Xplore http://ieeexplore.ieee. org/abstract/document/7365154/, дата обращения 24.10.2023 г.
- 5. Моделирование маневренности судна с помощью искусственных нейронных сетей, обученных набору данных с коротким шумом MDPI https://www.mdpi.com/2077-1312/11/1/15, дата обращения 24.10.2023 г.
- 6. Модель искусственной нейронной сети для предварительного проектирования судна https://trid.trb.org/view/450190, дата обращения 24.10.2023 г.
- 7. Правовые аспекты использования нейронных сетей https://cyberlenin-ka.ru/article/n/pravovye-aspekty-ispolzovaniya- neyronnyh-setey/viewer, дата обращения 24.10.2023 г.
- 8. Alcyclopedia | Top AI Directory Tools https://www.aicyclopedia.com/my-tools, дата обращения 24.10.2023 г.
- 9. Стратегия развития судостроения России до 2035 года. http://government.ru/docs/38218/, дата обращения 24.10.2023 г. ■

овременные корабельные энергетические установки (КЭУ), как правило, двухвальные, многомашинные, часто комбинированные редукторные. Проблемы создания КЭУ состоят в выборе количества и типа главных двигателей, а также в выборе схемы их подключения на различных ходовых режимах. Со второй половины 90-х гг. ХХ в. практически закончилось строительство кораблей и судов с котлотурбинными установками, с этого времени в КЭУ в качестве главных применяются только дизели и газотурбинные двигатели (ГТД), а также в относительно малом количестве ядерные энергетические установки. Причем в составе комбинированных КЭУ последние котлотурбинные агрегаты устанавливались в конце

Прежде чем обсуждать вопрос о приоритете применения в качестве главных двигателей дизелей или газовых турбин, необходимо определиться с конструктивной схемой перспективной КЭУ. С учетом опыта последних десятилетий будем рассматривать двухвальные установки, в которых на каждый вал через редукторы подключены по два двигателя, маршевый и форсажный, причем предусмотрены муфты, обеспечивающие возможность их совместной работы. Кроме того, будем рассматривать наиболее сложный и наиболее маневренный

О ВЕКТОРЕ РАЗВИТИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

С.П. Столяров, канд. техн. наук, доцент,

А.С. Столяров, ст. преподаватель,

А.В. Пролеева, магистрант,

О.М. Фёдорова, инженер, СПбГМТУ,

контакт. тел. +7 (911) 982 2802, +7 (999) 229 2080, +7 (911) 013 0204

вариант установки, в котором маршевые двигатели объединены механической связью, в результате малые хода возможны под одним или двумя маршевыми двигателями.

Эффективная работа комбинированной КЭУ в такой комплектации предполагает согласование режимных параметров движителя и двигателя, что может быть исполнено двумя способами — применением либо гребных винтов регулируемого шага (ВРШ), либо многоскоростных редукторов. В настоящее время, исходя из необходимости снижения массы и обеспечения маневренных качеств установки, предпочтительнее ВРШ.

Выбор главного двигателя традиционно определяется заданной скоростью хода корабля. Обобщение сведений о практике военно-морского флота СССР и РФ [1, 2] дает основание в рамках данного исследования назначить скорость полного хода 30 уз для современного быстроходного корабля размерами от корвета и более. Выбор скорости экономического хода необходимо делать с учетом нескольких факторов: эффективности главного двигателя на долевых режимах при работе по винтовой характеристике; состава корабельных групп, совершающих совместные переходы; определенных требований руководства военно-морского флота. В совокупности для заданной скорости хода определяется или назначается дальность плавания корабля. По опубликованным сведениям, для оговоренных выше кораблей дальность плавания приводится при скорости хода в диапазоне 18–14 уз, причем верхняя граница соответствует практически всем крупным кораблям океанской зоны, нижняя граница относится к кораблям меньшего водоизмещения и для некоторых кораблей может незначительно отличаться. В рамках данного исследования назначим два долевых режима: крейсерский ход -18 уз и экономический ход -14 уз.

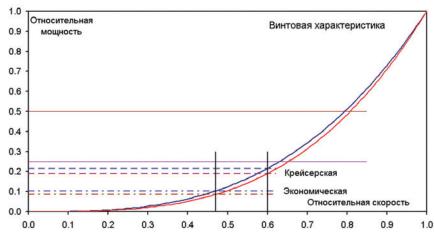
Ввиду неопределенности конкретных конструктивных особенностей и пропульсивных качеств перспективного корабля винтовую характеристику представим в виде $N_E = \mathbf{v}^K$, где K = 3-3,5. На рис. 1 винтовая характеристика приведена в относительных величинах для пограничных случаев K = 3 и K = 3,5. Долевые режимы, обозначенные на рисунке вертикальными линиями, соответствуют относительной скорости 0,6 (18 уз) и 0,47 (14 уз).

Комбинированные установки с двигателями одного типа, обозначаемые как СОБАБ или СОБАБ, в некоторых случаях комплектовались двигателями одинаковой мощности. В этом случае на долевых режимах, организованных путем отключения части двигателей, относительная мощность составляет 0,5 или 0,25, что соответствует скорости хода корабля 0,79–0,81 (23,7–24,3 уз) и 0,63–0,65 (18,9–19,5 уз).

Таким образом, применение комбинированной КЭУ из четырех двигателей одинаковой мощности в случае, если маршевые двигатели объединены механической связью, обеспечивают крейсерский ход при работе одного двигателя на два гребных вала. Достоинством этого варианта является также высокая суммарная мощность КЭУ, так как маршевые двигатели по мощности равны форсажным.

Для достижения экономического хода необходима мощность 8,4–10,2% от номинальной, крейсерский ход обеспечивается при мощности двигателей 19,0–21,6% от номинальной. Характерно, что принятые величины экономического и крейсерского хода отличаются практически в 2 раза. В результате комбинированная КЭУ, в которой мощность маршевых двигателей составляет примерно 25% от мощности форсажных, обеспечивает двумя маршевыми двигателями крейсерский ход, а одним — экономический.

Выбор маршевых и форсажных двигателей обычно проводится на основании представлений о том, что ГТД отличаются малой удельной массой и применяются в качестве форсажных, а дизели — малым удельным расходом топлива и применяются в качестве маршевых. Исключения из этого правила известны. В начальный период применения ГТД с середины 60-х гг. до конда 80-х гг., когда преимущество ГТД по удельной массе было значительным, распространение получили КЭУ по схеме СОGAG или СОGOG. С начала 80-х гг. в связи с прогрессом в ди-



 $\it Puc.$ 1. Долевые режимы при работе комбинированной $\it K\partial \it Y$ по винтовой характеристике

— – мощность маршевых двигателей, выбранная по условию достижения скорости крейсерского хода; -... – мощность, выбранная по условию экономического хода

зелестроении началось широкое внедрение КЭУ по схеме CODAD [3].

Для того чтобы оценить целесообразность применения дизелей или ГТД, введем в качестве критерия дальность плавания корабля заданной скоростью, при которой дизели будут иметь преимущество по сравнению с ГТД.

Масса двигателя мощностью $N_{\scriptscriptstyle E}$ и при запасах топлива для движения в течение T суток

 $M = g_N \cdot N_E + g_E \cdot N_E \cdot T \cdot 24$, (1) где g_N — удельная масса двигателя, кг/кВт; g_E — удельный эффективный расход топлива, кг/кВт·ч.

Удельная масса двигателя вместе с запасом топлива

$$\frac{M}{N_E} = g_N + g_E \cdot T \cdot 24 \quad [\text{KF/KBT}]. \quad (2)$$

Обозначим индексами Д — дизель, Γ — ГТД. Определим разницу удельных масс в предположении о преимуществе дизеля:

$$\frac{M_{\Lambda} - M_{\Gamma}}{N_{E}} = (g_{N\Lambda} - g_{E\Gamma}) + + (g_{E\Pi} - g_{E\Gamma}) \cdot T \cdot 24 \le 0.$$
(3)

В результате преобразования получим

$$T \ge \frac{\left(g_{NJL} - g_{E\Gamma}\right)}{\left(g_{E\Gamma} - g_{E}\right) \cdot 24}.$$
 (4)

Теперь определим дальность плавания в милях со скоростью хода ν , при которой дизельный вариант будет иметь преимущество по удельной массе в сравнении с ГТД:

$$L \ge \frac{\left(g_{NX} - g_{ET}\right)}{\left(g_{ET} - g_{ED}\right)} \cdot v. \tag{5}$$

Математическая особенность выражения (5) состоит в том, что в числителе и знаменателе стоят разности параметров, близкие по величине. Соответственно, при ее использовании для обеспечения достоверного результата эти параметры должны быть определены с достаточно высокой точностью. В этом кроется серьезная проблема, имеющая

объективные и субъективные причины, особенно при назначении величины удельного эффективного расхода топлива

Главные причины состоят в том, что фирмы-производители могут работать по собственным стандартам, что значительно затрудняет сравнение двигателей разных изготовителей и вынуждает выполнять пересчет удельного эффективного расхода топлива с учетом отличающихся внешних условий, нагрузки, комплектации систем и вспомогательных механизмов. Применение судовых дизелей гражданского назначения в течение последних десятилетий находится под жесткий прессингом экологических ограничений, которые в значительной степени имеют политическую окраску и являются средством конкурентной борьбы. Введение экологических ограничений началось с Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. (MARPOL). Дополнения к этой конвенции, касающиеся выбросов оксидов азота и серы, были разработаны в 1997 г. и постепенно вступали в силу на протяжении последних 20 лет. Первый вариант нормативов по выбросу NOx (TierI) начал действовать 1 января 2000 г. Правила TierIII вступили в силу 1 января 2016 г. [4]. В результате, если в начале этого временного интервала основные усилия научных исследований дизелистов были направлены на улучшение экономических показателей: расхода топлива, использование дешевых мазутов, снижение эксплуатационных расходов, то примерно после 2000 г. наибольшие усилия затрачивались на снижение токсичных компонентов на выпуске. Изменение вектора направленности научных работ дало неоднозначный результат применение средств очистки отработавших газов и высокосортного топлива, перенастройка топливной аппаратуры привели к росту удельного эффективного расхода топлива, стоимости оборудования и эксплуатационных расходов [5–7].

Субъективные причины, снижаюшие степень доверия к опубликованным параметрам, характеризующим эффективность двигателей, состоят в разных рекламных стратегиях предприятий энергомашиностроения; часть предприятий в расчете на развитие доверительных отношений с потребителями указывает предельно точные параметры эффективности, другие используют различные уловки, чтобы повысить привлекательность своих двигателей, например, опубликование неполных комплектов параметров, завышение параметров в пределах поля допуска, подмена достоверных сведений расчетными или прогнозными.

В табл. 1 приведены параметры современных корабельных дизелей, отличающихся минимальной удельной массой. Удельная масса дизеля типа М-507 ПАО «Звезда» минимальная. Это единственный высокооборотный дизель, применяющийся в качестве главного на быстроходных кораблях водоизмещением около 800 т. Остальные дизели – среднеоборотные (СОД), из которых наименьшую удельную массу имеют дизели германской фирмы МТU.

Для того чтобы выявить целесообразность применения дизелей разных типов в составе КЭУ, зададим длительность работы на режимах разной скорости при условии одинакового запаса топлива. Предполагая, что скорость и мощность на различных режимах соответствуют винтовой характеристике (см. рис. 1), приняты мощность полного хода - 100%, мощность крейсерского хода – 20%, мощность экономического хода – 10% номинальной. Соответственно, для расчетных режимов получены следующие параметры автономности по топливу и дальности плавания:

- полный ход: 30 (1,00) уз, 3 сут, 2160 (0,21) миль;
- крейсерский ход: 18 (0,60) уз, 15 сут, 6480 (0,64) миль;
- экономический ход: 14 (0,47) уз, 30 сут, 10 080 (1,0) миль.

Для этих условий была рассчитана удельная масса дизеля вместе с массой запаса топлива на назначенные скорость и дальность плавания, расчет выполнялся по соотношению (2). Результаты расчетов представлены в табл. 2. Двигатели расположены в табл. 2 по убыванию удельной массы, нумерация двигателей оставлена, как в табл. 1.

Прежде чем оценивать полученные результаты, необходимо отметить, что их нельзя понимать как расчетную оценку долевых режимов корабля. Здесь рассмотрен случай выбора двигателя для

Параметры современных судовых дизелей с относительно малой удельной массой

| № п.п | Фирма, двигатель | Обозначение по ГОСТ | Мощ- ность, кВт | Частота вращения, мин ⁻¹ | Удельный эффект: расход топлива, г/кВт∙ч | Масса, кг | Удель- ная масса, кг/кВт | Источ- ник |
|-------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|---|--|--------------|-----------------------------------|---------------|
| 1 | Caterpillar C 280–16 TIER 4 | 164H28/30 | 5420 | 1000 | 197 | 31000 | 5,72 | [8] |
| 2 | MAN B&W 20V 28/33D STC | 204H28/33 | 10000 | 1032 | 186,5 | 52900 | 5,29 | [9] |
| 3 | MTU 20V 1163 M74 | 204H23/28 | 6000 | 1250 | 208 | 24480 | 4,08 | [10] |
| 4 | MTU 16V 1163 TB93 | 204H23/28 | 7400 | 1300 | 225 | 22800 | 3,08 | [11] |
| 5 | MTU 20V 8000 M91 | 204H 26,5/31,5 | 9100 | 1150 | 189 | 45 300 | 4,98 | [12] |
| 6 | SEMT Pielstick 16V PA6 B STC | 164H28/33 | 6480 | 1050 | 197 | 34000 | 5,25 | [13] |
| 7 | Wärtsilä 16SW280 | 204H28/30 | 5400 | 1000 | 194,5 | 34000 | 6,3 | [14] |
| 8 | Wärtsilä 16V26 | 164H26/32 | 5440 | 1000 | 192 | 37900 | 6,97 | [15] |
| 9 | Коломенский завод, Д500 | 204H 26,5/31 | 6300 | 1000 | 185 | 43 000 | 6,83 | [16] |
| 10 | Коломенский завод, 10 Д49 | 164H26/26 | 3825 | 1000 | 211 | 24020 | 6,28 | [17] |
| 11 | «Звезда», М-507 | 564H16/17 | 7320 | 2000 | 230 | 17 100 | 2,34 | [18] |

Таблица 2 Сопоставление удельной массы двигателя с запасом топлива при движении корабля с разной скоростью

| Transfer of Patrick Charles | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------|-------------------------------|--|
| № п. п | Фирма, двигатель | Oferman | Удельный эффект: | удель- | Удельная масса двигателя с запасом топлива, кг/кВт | | | |
| | | Обозначение по ГОСТ | расход топлива, г/кВт·ч | ная масса двигателя, кг/кВт | 14 уз, 30 сут, 10 080 миль | 18 уз, 15 сут, 6480 миль | 30 уз, 3 сут, 2160 миль | |
| 10 | Wärtsilä 16V26 | 164H26/32 | 192 | 6,97 | 145,2 | 76,09 | 20,79 | |
| 11 | Коломенский завод, Д500 | 20ЧН 26,5/31 | 185 | 6,83 | 140,0 | 73,43 | 20,15 | |
| 9 | Wärtsilä 16SW280 | 204H28/30 | 194,5 | 6,3 | 146,3 | 76,32 | 20,30 | |
| 13 | Коломен- ский завод, 10 Д49 | 164H26/26 | 211 | 6,28 | 158,2 | 82,24 | 21,47 | |
| 1 | Caterpillar C 280–16 TIER 4 | 164H28/30 | 197 | 5,72 | 147,6 | 76,64 | 19,90 | |
| 2 | MAN-B&W 20V 28/33D STC | 204H28/33 | 186,5 | 5,29 | 139,6 | 72,43 | 18,72 | |
| 8 | SEMT Pielstick 16V PA6 B STC | 164H28/33 | 197 | 5,25 | 147,1 | 76.17 | 19,43 | |
| 5 | MTU 20V 8000 M91 | 204H26,5/31,5 | 189 | 4,98 | 141,1 | 73,02 | 18,59 | |
| 3 | MTU 20V 1163 M74 | 204H23/28 | 208 | 4,08 | 153,8 | 78,96 | 19,06 | |
| 4 | MTU 16V 1163 TB93 | 204H23/28 | 225 | 3,08 | 165,1 | 84,08 | 19,28 | |
| 14 | «Звезда», М-507 | 564H 16/17 | 230 | 2,34 | 167,9 | 85,14 | 18,90 | |

обеспечения долевого режима комбинированной КЭУ при работе части главных двигателей на номинальной мощности. Еще одно обстоятельство связано с обоснованием точности и достоверности полученных результатов. Основные причины этого названы выше. Чтобы повысить достоверность результатов,

различия в величине удельной суммарной массы двигателя и топлива принимались во внимание, только если они составляли по величине более 2%. Таким образом, для каждого скоростного режима наилучшими признаны по три двигателя.

Причем два германских двигателя 20V 28/33DSTC фирмы MAN-B&W и 20V 8000 М91 фирмы MTU вошли в число лучших для всех трех скоростных режимов, что свидетельствует о том, что эти двигатели целесообразно применять как в качестве маршевых, так и форсажных.

В число лучших вошли также два отечественных дизеля: новейший коломенский типа Д500 и прославленный мотор ПАО «Звезда» типа М-507. Двигатель Д500 имеет почти такую же размерность, как и МТU 20V 8000 М91, но при меньшем уровне форсирования, имеет расход топлива меньше на 5 г/кВт·ч. Дизель М-507, несмотря на достаточно высокий расход топлива, благодаря уникально малой удельной массе, встроенному редуктору и высокой агрегатной мощности оказался в числе лучших при движении с высокой скоростью.

Поскольку в последние десятилетия главным направлением совершенствования дизелей было удовлетворение экологических требований даже в ущерб экономическим показателям, для оценки возможно малой величины удельного эффективного расхода топлива корабельного дизеля обратим внимание на следующие двигатели:

- Sulzer 16VZA40S, 10160 кВт 176 г/кВт-ч (Программа 1985 г.);
- MAN-B&W 16V52/55B, 12400 кВт 174 г/кВт-ч (Программа 1995 г.);
- MAN-B&W 16V48/60B, 19 200 кВт 173 г/кВт-ч (Программа 2005 г.);
- Caterpillar 16M 43C, 16 000 кВт 176 г/кВт-ч (Программа 2017 г.).

Приведенные сведения подтверждают, что лучшие судовые СОД достигли снижения номинального расхода топлива до величины порядка 175 г/кВт·ч в период 1985—1995 гг.

Вопрос о наиболее экономичных современных судовых СОД выяснить с высокой точностью практически не удалось. Достоверность рекламных сообщений не соответствует целям рассматриваемого вопроса. При этом любые сообщения о достижении результатов мирового уровня, которые делают фирмы в виде проспектов, выставочных стендов, докладов сотрудников на выставках и конференциях, по сути, являются рекламными. К этому следует добавить, что расход топлива – один из важнейших показателей эффективности двигателя, во многом определяющим экономическую целесообразность его применения и, соответственно, влияющим на контрактную цену поставки двигателей заказчикам. По этим причинам в общедоступной рекламной информации некоторые фирмы не указывают удельный эффективный расход топлива, оставляя эту величину как договорное обязательство, оформленное контрактом в совокупности с другими контрактными требованиями.

На сегодняшний день одним из наиболее экономичных судовых СОД является Wärtsilä 31 (8–16)ЧН31/43 мощностью 4800-9600 кВт. Сообщается, что удельный эффективный расход топлива этого двигателя с учетом затрат на привод насосов от коленчатого вала в точке максимальной эффективности составил 167,7 г/кВт·ч [19].

Параметры современных корабельных газотурбинных агрегатов собрать с такой же полнотой и достоверностью, как для дизелей, не представляется возможным. Главные причины этого - в относительно малом числе фирм-производителей и количестве выпускаемых модификаций, что не позволяет считать задачу статистической. Субъективные причины состоят в конкурентной борьбе ГТД и дизелей, в которой в течение всего срока существования тепловых двигателей внутреннего сгорания дизели опережали ГТД практически по всем экономическим показателям, но уже достаточно давно, более 50 лет, турбинисты дают прогнозы о возможности догнать и превзойти дизели по эффективности.

Параметры современных ГТД, по которым имеется необходимая информация, приведены в табл. 3. В ней содержатся сведения об американских и британских ГТД, а также о трех отечественных. В открытых источниках необходимого набора параметров не обнаружено, так как в настоящее время поступление на флот отечественных ГТД только начинается. ГТД николаевского производства в таблицу не включались вследствие сложившейся политической обстановки.

Следует отметить следующее: в источнике [21] оговорено, что указанная масса двигателя WR-21 не является полной, а относится только к главному модулю. Так что соответствующая удельная масса не может быть признана реальным ориентиром для сравнения с дизельными КЭУ. Значение массы ГТД производства ПАО «ОДК-Сатурн», а также применяемых в составе корабель-

ных КЭУ редукторов в открытых публикациях не найдена. Удельный эффективный расход топлива для каждого ГТД указан двумя величинами. Источники информации разъяснений не дают, но минимальная величина в числителе, надо полагать, относится к рекламной информации и некоторой перспективе. В знаменателе приведена несколько большая величина, которая может рассматриваться как подтвержденная испытаниями, хотя в большинстве случаев не указывается, в соответствии с какими стандартами получены эти данные. Символично, но величина в числителе декларирована фирмами-производителями, в знаменателе – кораблестроителями.

Еще более критическая информация о параметрах ГТД приводится техническими специалистами флота [26]. В качестве преимуществ названы: малая удельная масса (1,5–3 кг/кВт), высокая агрегатная мощность (до 30–40 МВт), существенно меньшие по сравнению с дизельными КЭУ выбросы вредных веществ, высокие маневренные и динамические характеристики. В числе недостатков указываются большой удельный расход воздуха, в 4,5–5 раз больше, чем в дизельных КЭУ, что усложняет размещение габаритных воздухоприемных шахт и дымовых труб, высокая чувствительность к изменению температуры атмосферного воздуха - при ее увеличении на входе в ГТД существенно снижаются мощность и коэффициент полезного действия ГТД. Наиболее существенный недостаток ГТД - высокий удельный расход топлива, причем этот недостаток проиллюстрирован следующими сведениями: современные отечественные ГТД на полной (номинальной) мощности уступают дизелям в 1,2-1,9 раза, на нагрузках до 50% от номинальной мощности экономичность ГТД резко ухудшается в 2–,5 раза.

Последний комментарий дает основания сделать следующие сопоставления: при удельном эффективном расходе топлива дизеля 180 г/кВт·ч величина на 20% больше – ориентировочный рас-

Параметры современных судовых ГТД

| № п. п | Фирма, двигатель | Мощность, кВт | Частота вращения, мин ⁻¹ | Удельный эффект: расход топлива, г/кВт∙ч | Масса, кг | Удельная масса, кг/кВт | Источ- ник |
|--------|------------------------------|------------------|---|--|-----------|------------------------------|---------------|
| 1 | General Electric, LM2500 | 18 400 | 3680 | 181,9/227 | 89811 | 4,88 | [20] |
| 2 | General Electric, LM2500+ | 29 000 | 3680 | 179,2/216 | 94347 | 3,25 | [20] |
| 3 | Rolls-Royce, WR-21 | 25 000 | 3600 | 190/197 | 45 974 | 1,84 | [21] |
| 4 | ПАО «ОДК-Сатурн», М70 ФРУ | 8826 | - | 178/242 | - | - | [22, 25] |
| 5 | ПАО «ОДК-Сатурн», М75 РУ | 4412 | - | 190/269 | _ | _ | [23, 25] |
| 6 | ПАО «ОДК-Сатурн», М90 ФР | 27500 | 3450 | 170/231 | - | - | [24, 25] |

ход ГТД составляет 216 г/кВт·ч, а при 200 г/кВт·ч – 240 г/кВт·ч. Примерно 10 г/кВт·ч преимущества современным дизелям добавит перенастройка корабельных дизелей на режим максимальной экономичности. Таким образом, преимущество дизелей перед ГТД составляет 46-50 г/кВт·ч.

Оценку преимущества ГТД по удельной массе провести несколько сложнее. Помимо разницы собственно массы дизеля и ГТД, надо учесть разницу в массе редуктора, подмоторной рамы, газоходов, систем и оборудования. Без проектной привязки к объекту эти величины можно рассматривать только как оценочные.

Привязанные к конкретным современным КЭУ сведения о массе составляющих элементов практически не публикуется. В качестве ориентира принята удельная масса редуктора для ГТД в 2 кг/кВт [27].

С учетом сведений, приведенных выше, примем удельную массу дизеля с одноступенчатым редуктором в среднем 6-7 кг/кВт, ГТД с редуктором и с соответствующими дополнительными элементами -4-5 кг/кВт. Таким образом, дизельная КЭУ по сравнению с турбинной принята тяжелее на 2 кг/кВт.

Теперь для оценки перспективности применения дизелей в составе корабельных КЭУ воспользуемся соотношением (5).

Для скорости полного хода 30 уз применение дизелей в качестве форсажных двигателей целесообразно при дальности плавания более

$$L \ge \frac{\left(g_{N\Pi} - g_{E\Gamma}\right)}{\left(g_{E\Gamma} - g_{E\Pi}\right)} \cdot \nu = \frac{2}{\left(0,046 - 0,050\right)} \cdot 30 =$$
= 1200 – 1300 миль.

Если учесть, что примерно за последние 30 лет удельная масса СОД снизилась более чем на половину, и уже имеются основания ориентироваться на СОД с удельной массой менее 5–6 кг/кВт, получим разграничивающую дальность плавания

$$L \ge \frac{\left(g_{N,\Pi} - g_{E\Gamma}\right)}{\left(g_{E\Gamma} - g_{E,\Pi}\right)} \cdot v = \frac{1}{\left(0,046 - 0,050\right)} \cdot 30 =$$

Выполним сравнение КЭУ с СОД и ГТД по методике, использованной при расчете табл. 2. Для СОД рассмотрим два варианта – со средней удельной массой и облегченный. Результаты привелены в табл. 4.

Результаты сравнения показывают, что при большой дальности плавания полным ходом, соответствующей длительности полного хода около 2 суток и более преимущество в удельной массе КЭУ вместе с запасом топлива имеет дизельная установка на базе СОД. Разграничивающая дальность плавания снижается в 2 раза при снижении удельной массы главных дизелей до 5 кг/кВт.

Сопоставление удельной массы двигателя с запасом топлива при движении корабля с разной скоростью. Перспективные варианты

| № п. п | • | Удельный эф- | Удельная | Удельная масса двигателя с запасом топлива, кг/кВт | | | |
|--------|---------------------|----------------------------------|------------------------------|---|--------------------------------|-------------------------------|--|
| | Фирма, двигатель | фект: расход топлива, г/кВт·ч | масса двига- теля, кг/кВт | 14 уз, 30 сут, 10080 миль | 18 уз, 15 сут, 6480 миль | 30 уз, 3 сут, 2160 миль | |
| 1 | СОД-1 | 170 | 7 | 129,4 | 68,2 | 19,24 | |
| 2 | СОД-2 | 170 | 6 | 128,4 | 67,2 | 18,24 | |
| 3 | ГТД | 216 | 5 | 160,5 | 82,8 | 20,55 | |

Для того чтобы иметь дальность плавания в течение 3 суток, запасы топлива должны быть примерно в 3 раза больше массы главных двигателей для СОД и в 4 раза больше массы ГТД с редуктором. При таких запасах топлива корабль будет иметь дальность плавания примерно 10 000 миль 14-узловым ходом и 6400 миль при ходе 18 уз.

Полученные результаты показывают, что в настоящее время сложилась ситуация, при которой между лучшими СОД и ГТД наблюдается в определенной степени паритет, при котором повышенная масса двигателей компенсирована их более высокой экономичностью.

Эти выводы подтверждаются также статистическими исследованиями, которые показали, что после 1991 г. доля строящихся кораблей среднего водоизмещения с дизельными КЭУ начала стремительно возрастать как в чисто дизельном варианте по схеме CODAD, так и в составе комбинированных КЭУ по схемам СОДАС, СОДОС и CODLAG. На рубеже 2000-х гг. доля строящихся кораблей водоизмещением 2000-6000 т, имеющая в составе КЭУ главные дизели, превысила 90%. Соответствующая доля ГТД за период с 1992 г. по 2006 г. снизилась примерно с 70% до 60% [3]. Собственно, именно эти статистические данные привлекли внимание к срочной необходимости организации производства современных корабельных СОД большой мощности. До 1991 г. завод «Русский дизель» выпускал по лицензии фирмы SEMT Pielstick судовые дизели 6ЧН40/46 номинальной мощностью 2576 кВт. В настоящее время двигатели Pielstick выпускаются под брендом «MAN Diesel & Turbo», модификация Pielstick 16PC2.5V мощностью 7649 кВт при 520 мин-1 имеет удельный эффективный расход топлива 194 г/кВт·ч. Представляется, что если научно-технический задел, наработанный Коломенским заводом при создании дизеля Д500, соединить с производственно-технологическим заделом «Русского дизеля» по двигателю 6ЧН40/46, Россия могла бы производить современные СОД агрегатной мощностью около 22-26 МВт.

Создание дизельной КЭУ в составе двух дизелей мощностью по 25 MBт

и двух дизелей мощностью по 5 МВт обеспечит потребности при постройке кораблей океанской зоны водоизмещением до 10000 т. В гражданском судостроении дизели мощностью порядка 25 МВт будут востребованы при создании транспортных судов водоизмещением от 20000 т и более.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Кузин В.П., Никольский В.И.* Военно-Морской Флот СССР 1945–1991. СПб.: Историческое морское общество, 1996. 653 с.
- 2. Корабли и суда ВМФ СССР и Российской федерации [Электронный ресурс]: RussianShips.info [сайт]. URL: http://russianships.info/boevye/ (дата обращения: 15.01.2023 г.)
- Столяров С.П., Рудакова С.С., Молчанов А.В. Тенденции в развитии энергетических установок кораблей среднего водоизмещения в период 1930 2010 годы: Статистическое исследование // Тр. Крыловского государственного центра. 2021. Спецвып. №1. С.37–41.
- Йосова А. Как новые экологические требования влияют на индустрию суперяхт – // it Boat [интернет-издание] [02.06.2020].
 – [Электронный ресурс]: URL: https:// itboat.com/ru/articles/5641-kak-novyeekologicheskie-trebovaniya-vliyayut-naindustriyu-superyaht
- Кухарёнок Г. М., Березун В. И. Улучшение экологических показателей дизеля.
 Минск; Изд. БНТУ, 2019. 149 с.
- Фролкин А.С., Аверин В.А. Разработка мероприятий по снижению вредных выбросов перспективных дизелей серии Д-3040 производства ОАО «ПО АМЗ» // Ползуновский вестник. 2008. № 1–2. С.127–130.
- Ильичев И.Г. Снижение вредных выбросов с отработавшими газами судовых дизелей // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта (Н. Новгород, Изд-во ФГОУ ВПО ВГАВТ). 2005. Вып. 13: Судовая и промышленная энергетика. С.53–54.
- 8. C280-16. Проспект фирмы Caterpillar: LEHM7114-01:(3-10) [2010]. [Электронный ресурс]: URL: https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/ LEHM7114-01 (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- MAN V28/33D. Проспект фирмы MAN Diesel&Turbo: STC Propulsion: 86224: Augsburg, Germany [2017]. [Электронный ресурс]: URL: https://s3.uswest-2.amazonaws.com/linquip.equipment/72171/equipment_72171_catalog_66567228f27949460718dc50f1a4c157db5ef754.pdf (датаобращения: 22.01.2023 г.)
- 10. Diesel engines 16V 1163 M74 for fast vessels with high load factors (1В). Проспект фирмы MTU [2019]. –

- [Электронный ресурс]: URL: https://pdf.nauticexpo.com/pdf/mtu/diesel-engines-16v-1163-m74-fast-vessels-high-load-factors-1b/31379-119305.html (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 11. Engine MTU 20V 1163 ТВ93. ООО «ПромРешения» [сайт]. [Электронный ресурс]: URL: https://prom-resh. com/en/engine/mtu-20v-1163-tb93 (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 12. Diesel Engine 20V 8000 M91 for Vessels with Low Load Factors (1DS). Проспект фирмы МТU [2008]. [Электронный ресурс]: URL: https://pdf.nauticexpo.com/pdf/mtu/mtu-diesel-engine-20v-8000-m91-vessels-low-load-factors-1ds/31379-19420-_2.html (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 13. FM PA6B. Проспект фирмы Fairbanks Morse Defense [2022]. [Электронный ресурс]: URL: https://www.fairbanksmorse. com/pa6b-stc (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 14. Wärtsilä ENGINES SW280. Проспект фирмы Wärtsilä Corporation: Wärtsilä Nederland B. V., 2008. [Электронный ресурс]: URL: https://quantiparts.com/tech-support/swd/SW280/1-engine%20 leaflet/SW280_leaflet.pdf (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- Двигатель Wärtsilä 16V26. Сайт компании «НОРТА МИТ» (Морская индустриальная техника) [2022]. [Электронный ресурс]: URL: http://norta.net/ru/catalog_sku/w-16v26/(дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 16. Дизель 20ЧН26,5/31. Интернетпортал Корабел.ру: Новости пар-

- тнеров: Коломенский завод [сайт] [09.11.2017]. [Электронный ресурс]: URL: https://www.korabel.ru/news/comments/dizel_20chn26_5_31_ot_kolomenskogo_zavoda.html (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 17. Судовые дизельные двигатели типа Д49 (ЧН26/26). Интернет-портал Корабел.ру: Судовое оборудование и комплектующие: Судовые двигатели: Коломенский завод [сайт]. [Электронный ресурс]: URL: https://www.korabel.ru/equipment/item_view/345170.html (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 18. М507. Сайт компании «Дизельзипсервис»: Услуги: Поставка дизельных двигателей [сайт]. [Электронный ресурс]: URL: https://spbdiesel.ru/uslugi/postavka-dizelnyh-dvigatelej/m507/(дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 19. Wärtsilä 31 the most efficient engine in the world. Официальный сайт Wärtsilä . [Электронныйресурс] URL: https://www.wartsila.com/insights/article/wartsila-31-the-most-efficient-engine-in-the-world
- 20. General Electric LM2500 [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/General_Electric_LM2500 (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 21. Rolls-Royce WR-21 [Электронный pecypc] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Rolls-Royce_WR-21 (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 22. Характеристики морского газотурбинного двигателя М70 ФРУ НПО «Сатурн»//Mil.Press FLOT: Международ. военно-морской Салон [сайт]

- [2009]. [Электронный ресурс]URL: https://flot.com/PCandmobile/salon/index. htm?SECTION_ID=1844& ELEMENT_ID=25836&ysclid=ldkl1enbxd685890048 (датаобращения: 22.01.2023 г.)
- 23. Перелесов С. М75 РУ первый корабельный газотурбинный двигатель России. — Мотор БИ: Водный транспорт [16.05.2017]. — [Электронный ресурс]: URL: https://motorbi.ru/?p=3606&yscli d=ldrlqygvnr939403210 (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 24. Двигатели судовые, корабельный ГТД М90 ФР. Интернет-проект «Деловые контакты»: Оборудование и техника [сайт]. [Электронный ресурс] URL: https://www.opt-union.ru/i_store/item_1002002259/dvigateli-sudovye-korabelnyy-gtd-m90fr.html (дата обращения: 22.01.2023 г.)
- 25. Никитин В. С., Половинкин В. Н., Барановский В. В. Современное состояние и перспективы развития отечественных газотурбинных энергетических установок//Тр. Крыловского государственного научного центра. 2017. № 3. С. 75–90.
- 26. Мухаметиши Й.Т., Максимов М.В., Горбунов С.А. Основные направления развития энергетических установок надводных кораблей военно-морского флота//Военная мысль. – 2021. – № 8. – С. 115–125.
- 27. Редукторы для силовой установки фрегатов проекта 22350 успешно прошли испытания. «Сделано у нас»: Судостроение и судоходство [сайт]. [Электронный ресурс] URL: https://sdelanounas.ru/blogs/136848/(дата обращения: 22.01.2023 г.). ■

внастоящее время одним из проблемных вопросов повышения эффективности работы силовых электроустановок на электропотребителей являются ограниченные функциональные возможности, область применения и низкая надежность их функционирования. Данное обстоятельство обусловлено отсутствием возможностей осуществления различных режимов работы силовых электроустановок, в том числе и в аварийных ситуациях.

Так, широко известный способ работы дизель-генераторной установки путем преобразования внутренней энергии дизельного топлива в электрическую стандартной частоты и напряжения и последующей подачи данной электроэнергии потребителям [1] не может обеспечить их этой энергией при неработающем дизельном двигателе (первичном двигателе), а также при кратковременных значительных перегрузках.

Известен другой способ работы силовой энергоустановки — путем преобразования подведенной энергии первичного двигателя в электрическую и подачи ее электропотребителям [2]. Он дополнительно предусматривает аккумулирование электрической энергии в батарее конденсаторов при режиме нормального электропотребления, подачу электроэнергии с батареи конденсато-

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В.В. Камлюк, д-р техн. наук, проф.,

И.О. Прутчиков, ∂ -p техн. наук, проф., СПВИ ВНГ РФ

И.В. Гречушкин, канд. техн. наук, нач. отдела ООО «НПО 122 УНР», контакт. тел. +7 (981) 885 4987

ров и аккумуляторной батареи на вход преобразователя частоты и напряжения, преобразование электроэнергии в преобразователе частоты и напряжения и подачу ее с преобразователя частоты и напряжения потребителям при кратковременных значительных перегрузках и при остановленном первичном двигателе силовой установки. В то же время данный способ не позволяет обеспечить потребителей электроэнергией стандартной частоты и напряжения при долговременных значительных перегрузках, а также режим форсирования силовой установки по реактивной мощности.

Наиболее эффективным с точки зрения реализации функциональных воз-

можностей является способ работы дизель-генераторной установки, который наряду с выполнением рассмотренных выше режимов работы способен вычислять реактивную мощность в блоке датчиков реактивного тока, вывод результатов работы датчика реактивной мощности на вход преобразователя частоты и напряжения и форсирование силовой установки по реактивной мощности [3]. Вместе с тем данный способ не может функционировать в режимах: нормального электропотребления с подзарядкой аккумуляторной батареи; с частичной и малой нагрузкой; с кратковременными и долговременными перегрузками по активному и реактивному току; электропитания потребителей с переменной

частотой тока, частотного обратимого пуска двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и автоматического изменения режимов ее работы, что ограничивает функциональные возможности, область применения и обуславливает низкую эффективность работы силовой энергоустановки.

Необходимо отметить, что современные достижения в области разработки компьютерных технологий, микропроцессорной техники и их применение для автоматизации управления режимами работы силовых электроустановок создают объективные предпосылки для дальнейшего повышения их эффективности.

На основе данного подхода сотрудниками ООО «Научно-производственное объединение 122 Управление монтажных работ» был разработан новый способ работы силовой электроустановки на электропотребителей, который защищен патентом на изобретение [4]. Сущность предлагаемого способа заключается в следующем.

При работе энергоустановки в режиме нормального электропотребления (нагрузка на двигатель составляет 0,75—1,0 от номинальной) осуществляют работу двигателя с номинальной частотой вращения. При этом потребители получают электропитание стандартной частоты и напряжения от силового генератора и в случае разряда аккумуляторной батареи осуществляют подзарядку аккумуляторной батареи от силового генератора посредством преобразователя частоты и напряжения.

При работе энергоустановки в режиме с частичной нагрузкой (0,2-0,75) от номинальной) двигатель переводят в более экономичный режим работы с пониженной частотой вращения (до 0,3-0,8 от номинальной в зависимости от типа двигателя). При этом питание потребителей осуществляют от силового генератора посредством преобразователя частоты и напряжения. Если для части потребителей, получающих электропитание от силового генератора, требуется (например, силовой электропривод) или допускается (например, электронагревательные установки) электропитание с переменной пониженной частотой тока, то на данном режиме возможно электропитание потребителей от силового генератора с переменной пониженной частотой тока и одновременно электропитание других потребителей от силового генератора посредством преобразователя частоты и напряжения с постоянной либо переменной в полном диапазоне (повышенной и пониженной) частотой тока. Одновременно с электропитанием потребителей на данном режиме выполняют заряд (подзарядку) аккумуляторной батареи и конденсаторной батареи от силового генератора посредством преобразователя частоты и напряжения.

При работе энергоустановки с малой нагрузкой (0-0,2 от номинальной) двигатель останавливают, а электропитание потребителей поступает от аккумуляторной батареи посредством преобразователя частоты и напряжения. При разряде аккумуляторной батареи двигатель запускают и проводят подзарядку аккумуляторной батареи и конденсаторной батареи от силового генератора посредством преобразователя частоты и напряжения. После заряда аккумуляторной батареи двигатель снова останавливают.

При работе энергоустановки в режиме перегрузок по активному и реактивному току (мощности) осуществляют питание потребителей от силового генератора и одновременно от преобразователя частоты и напряжения, который получает электропитание от аккумуляторной батареи и конденсаторной батареи при кратковременных перегрузках и только от аккумуляторной батареи при длительных перегрузках.

Таким образом, общая мощность, отдаваемая потребителю на данном режиме, определяется суммой мощностей преобразователя частоты и напряжения и силового генератора. Форсирование работы энергоустановки по активной мощности при перегрузках по активному току обеспечивается путем изменения фазы инвертируемого в преобразователе частоты и напряжения тока по отношению к фазе тока силового генератора под воздействием управляющего сигнала с блока управления режимами работы энергоустановки. Компенсация реактивной мощности при перегрузках по реактивному току обеспечивается соответствующим изменением уставки по напряжению инвертируемого в преобразователе частоты и напряжения тока под воздействием управляющего сигнала с блока управления режимами работы энергоустановки.

При работе энергоустановки в режиме электропитания различных групп потребителей с переменной частотой тока одна часть потребителей в случае необходимости получает электропитание от силового генератора в диапазоне частот ниже номинальной, а вторая часть в случае необходимости получает электропитание от преобразователя частоты и напряжения в диапазоне частот как ниже, так и выше номинальной для силового генератора. При этом преобразователь частоты и напряжения и силовой генератор работают автономно. При необходимости электропитание с переменной частотой тока единичных потребителей большой мощности осуществляют путем параллельной работы силового генератора и преобразователя частоты и напряжения.

При работе энергоустановки в режиме частотного обратимого пуска ее двигателя по сигналам от блока управления режимами работы энергоустановки электропитание с возрастающей частотой подают от аккумуляторной батареи посредством преобразователя частоты и напряжения к силовому генератору. При наличии электростартера последний на период запуска двигателя может подключаться к аккумуляторной батарее одновременно с преобразователем частоты и напряжения, что обеспечивает более благоприятные условия запуска двигателя.

Контроль, включение и переключение режимов работы энергоустанов-

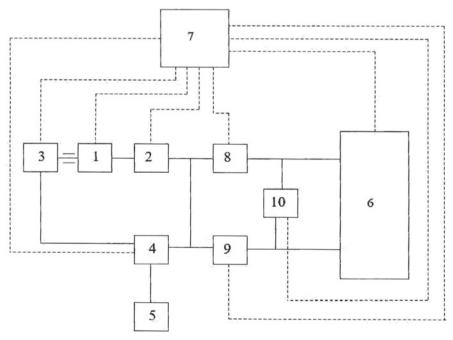


Рис. 1. Структурная схема энергоустановки

ки выполняется автоматически путем подачи управляющих сигналов с блока управления режимами работы энергоустановки по каналам связи на включение и выключение коммутационных аппаратов, подключенных к силовому генератору, преобразователю частоты и напряжения и потребителям электроэнергии, по сигналам от датчиков состояния основного оборудования энергоустановки, поступающим в блок управления по каналам связи и/или в результате внешних управляющих воздействий системы дистанционного управления энергоустановкой по показаниям приборов.

На рис. 1 изображена структурная схема устройства, реализующего рассматриваемый способ.

Энергоустановка содержит ДВС 1, с которым механически связан синхронный генератор 2; аккумуляторную батарею 3, которая электрически связана с ДВС 1 посредством сети электропитания постоянного тока; преобразователь частоты и напряжения 4, который электрически связан с аккумуляторной батареей 3 посредством сети электропитания постоянного тока; конденсаторную батарею 5, которая электрически связана с преобразователем частоты и напряжения 4 посредством сети электропитания постоянного тока, потребители электроэнергии 6.

Отличительной особенностью энергоустановки 7 является то, что она дополнительно снабжена блоком управления режимами ее работы, первым 8, вторым 9 и третьим 10 коммутационными аппаратами. При этом блок управления режимами работы энергоустановки 7 связан каналами связи с аккумуляторной батарей 3, ДВС 1, синхронным генератором 2, преобразователем частоты и напряжения 4, коммутационными аппаратами 8, 9 и 10, потребителями электроэнергии 6. Первый вход потребителей электроэнергии 6 электрически связан посредством сети переменного тока с синхронным генератором 2 и с преобразователем частоты и напряжения 4 через первый коммутационный аппарат 8 и через последовательно соединенные третий 10 и второй 9 коммутационные аппараты, а второй вход потребителей электроэнергии 6 электрически связан посредством сети переменного тока с синхронным генератором 2 и с преобразователем частоты и напряжения 4 через второй коммутационный аппарат 9 и через последовательно соединенные третий 10 и первый 8 коммутационные аппараты.

ДВС 1 предназначен для преобразования энергии сжигания топлива в механическую энергию и в своем составе

имеет измерительные датчики параметров, определяющих режим его работы, например, датчики тока, напряжения и частоты.

Синхронный генератор 2 предназначен для преобразования механической энергии, которая поступает от ДВС посредством муфты, установленной на валах ДВС 1 и синхронного генератора 2, в электрическую энергию и имеет в своем составе измерительные датчики, определяющие режим его работы, например, датчики тока, напряжения и частоты.

Аккумуляторная батарея 3 предназначена для аккумулирования электрической энергии и имеет в своем составе измерительные датчики, определяющие режим ее работы, например, датчики тока, напряжения и может быть выполнена на базе известных стартерных батарей.

Преобразователь частоты и напряжения 4 предназначен для преобразования электроэнергии переменного тока и постоянного тока в электрическую энергию переменного тока установленной частоты и напряжения, а также преобразования электроэнергии переменного тока в электроэнергию постоянного тока и может быть выполнен на базе известных статических преобразователей.

Конденсаторные батареи 5 предназначены для аккумулирования электроэнергии постоянного тока и могут быть выполнены в виде блока конденсаторов, обладающих высокой емкостью.

Потребители электрической энергии 6 предназначены для потребления электрической энергии стандартной частоты, а также переменных частоты и напряжения, необходимых для обеспечения частотного пуска и частотного регулирования динамических электропотребителей на базе электродвигателей, и имеют в своем составе измерительные датчики, определяющие режим их работы, например, датчики тока, напряжения и частоты.

Блок управления режимами работы энергоустановки 7 предназначен для сбора, обработки измерительной информации, поступающей от измерительных датчиков ДВС 1, синхронного генератора 2, аккумуляторной батареи 3 и потребителей электроэнергии 6, выбора режима работы энергоустановки путем подачи управляющих сигналов на коммутационные аппараты 8, 9, 10 и управления работой преобразователя частоты и напряжения 4 путем подачи управляющих сигналов по каналам связи. Он может быть выполнен на базе микропроцессорной техники, например, контроллеров со встроенным источником электропитания.

Коммутационные аппараты 8, 9, 10 предназначены для переключения сетей электропитания переменного тока при поступлении сигналов управления от блока управления режимами работы энергоустановки 7 в зависимости от режимов работы энергоустановки и могут быть выполнены на базе известных автоматических выключателей, переключателей с дистанционным управлением.

Предлагаемая автоматизация позволяет расширить функциональные возможности, область применения и повысить эффективность работы энергоустановки за счет автоматического контроля режимов ее работы и функционирования в данных режимах, в том числе и в аварийных ситуациях.

Таким образом, проведенный анализ позволил выявить тенденции и перспективы повышения эффективности работы силовых энергоустановок на электропотребителей и показал, что разработка и применение новых способов их работы и устройств для реализации данных способов, основанных на использовании новых компьютерных технологий, позволит расширить функциональные возможности, область применения и в целом повысить эффективность их функционирования.

ЛИТЕРАТУРА

- *Гребень И.И. и др.* Передвижная дизельная электростанция ПЭС-50. М.: Госмелбумиздат, 1951. с .9.
- Патент №2259492 С1, РФ, МПК F02D 29/06, F02B 63/04. Способ работы силовой установки на электропотребителей и устройство для его осуществления / Прутчиков И.О., Камлюк В.В. и др.; заявитель и патентообладатель Военный инженерно-технический университет, №2004100653/06; заявл. 08.01.2004; опубл. 27.08.2005// Бюлл. №24.
- 3. Патент №2361099 С2, РФ, МПК F02D 29/06, F02B 63/04. Способ работы двигателя внутреннего сгорания и двигатель внутреннего сгорания /Прутчиков И.О., Камлюк В.В. и др.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВИО Военный инженерно-технический университет, №2007119207/06; заявл.23.05.2007; опубл.10.07.2009. Бюл. №19.
- Патент №2797328 С1, РФ, МПК F02B 63/04, F02D 29/06. Способ работы силовой энергоустановки на электропотребителей и устройство для его осуществления / Камлюк В.В., Гречушкин И.В., Прутчиков И.О.; заявитель и патентообладатель.
 ООО «Научно-производственное объединение 122 Управление монтажных работ, №2022134836; заявл.27.12.2022; опубл.02.06.2023// Бюлл. №16.

рактически каждое судно вне зависимости от типа и водоизмещения оборудуется грузоподъемными средствами. Номенклатура грузоподъемного оборудования крайне разнообразна, на современных судах встречаются поворотные кран-балки, стреловые поворотные краны с тросовым изменением вылета, гидравлические краны с жесткой стрелой, со складной или с телескопической стрелой, краны-манипуляторы, грузовые стрелы и т. д. Разнообразен и характер выполняемых грузоподъемными средствами операций, это и перегрузка штучных грузов, контейнеров, сыпучих грузов, перемещение оборудования на палубе, выполнение грузоподъемных операций при монтажных и ремонтных работах, спуск и подъем оборудования с поверхности воды, перегрузка грузов и персонала с судна на судно, вы-

Перед проектантом судна стоит задача определить, какой тип грузоподъемного устройства и с какими характеристиками будет наиболее оптимален для задач, стоящих перед этим судном. В данной статье постараемся раскрыть особенности применения, преимущества и конструктивную специфику такого грузоподъемного средства, как кран-манипулятор с Z-образной схемой складывания.

полнение операций на шельфе и др.

Еще 30-40 лет назад наиболее распространенными типами судовых грузоподъемных средств были грузовые стрелы и электрогидравлические полноповоротные краны с тросовым приводом изменения вылета стрелы. Позже, с развитием гидроприводной техники, получили распространение электрогидравлические краны с верхним расположением стрелы и приводом изменения вылета стрелы при помощи гидроцилиндров. Гидроцилиндр позволяет легче варьировать параметрами и конструкцией стрелы, подстраиваясь под требования конкретного судна, в результате краны подобного типа значительно потеснили краны с тросовым приводом в нишах малых грузовых моментов и кранов специального назначения. Тем не менее краны с тросовым приводом остаются самым распространенными на судах типа балкеров и контейнеровозов.

Гидравлические краны с жесткой стрелой и с телескопической стрелой изначально разрабатывались как судовые, а вот краны-манипуляторы пришли в судостроение из строительно-дорожной отрасли. Во многом этот факт определил конструктивные особенности краноманипуляторной установки (КМУ), а также способствовал широкому распространению судового грузоподъемного оборудования этого типа.

Далее кратко рассмотрим устройство судового гидравлического крана-манипулятора. Основная его часть — КМУ.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СУДОВЫХ КРАНОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ

Ю.А. Лебедев, гл. конструктор—ученый секретарь ЗАО «ЦНИИ СМ», **С.И. Писарьков,** гл. конструктор НТЦ АО «НПФ «Микран», контакт. тел. +7 (981) 991 2588, +7 (909) 686 7910, yalebedev@sudmash.ru

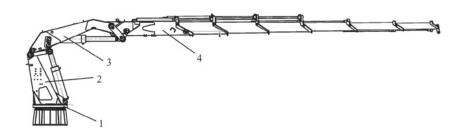


Рис. 1. Кран-манипулятор в рабочем положении

Судовой гидравлический кран-манипулятор (рис. 1) состоит из следующих основных узлов: опорно-поворотного устройства 1, колонны поворотной 2, рукояти 3 и стрелы телескопической 4.

Опорно-поворотное устройство 1 (ОПУ) предназначено для крепления крана-манипулятора к неповоротной части (барбету) и обеспечения его вращения. ОПУ представляет собой шариковый или роликовый подшипник, на одном из колец которого нарезаны зубья для зацепления редуктора механизма поворота и обеспечения вращения крана-манипулятора. ОПУ крепится к колонне поворотной и барбету при помощи болтового соединения.

Колонна поворотная 2 представляет собой коробчатую металлоконструкцию, на которой устанавливаются гидроцилиндр подъема рукояти и механизм поворота.

В зависимости от условий эксплуатации на колонне поворотной может быть размещен пост оператора, который в свою очередь может быть открытым или закрытым (кабина оператора).

Рукоять 3 – это металлоконструкция коробчатого сечения. На ней шарнирно крепятся стрела телескопическая и гидроцилиндр подъема стрелы.

Стрела телескопическая 4 состоит из набора секций, которые выдвигаются (втягиваются) под действием гидроцилиндров. На корневой секции стрелы телескопической может быть установлена грузовая лебедка.

Для подъема рукояти и стрелы используются гидроцилиндры, для поворота крана-манипулятора могут быть применены механизм поворота (неограниченный поворот) или гидроцилиндры (при этом угол поворота крана-манипулятора будет ограничен).

Для расширения возможностей применения и повышения эффективности работы КМУ кроме гака на ого-

ловке стрелы и лебедки с гаком может использоваться сменное рабочее оборудование: люлька, вилочный подхват, бордюрный захват, трубозахват (рис. 2), кольцевой захват, предназначенный для погрузки и монтажа труб, или грейфер (рис. 3).



Рис. 2. **Трубозахват**



Рис. 3. **Грейфер**

Кран-манипулятор для предупреждения разрушения его узлов оборудован ограничителем грузоподъемности, который автоматически отключает механизмы при превышении рабочей нагрузки в пределах 3–10%. При этом запрещаются движения, которые увеличивают грузовой момент, а движения, направленные на снижение грузового момента и вывод крана-манипулятора из опасного состояния, разрешаются.

Ограничитель грузоподъемности осуществляет координатную защиту кранаманипулятора, который предотвращает опасное сближение с судовыми конструкциями. Также координатная зашита запрещает приближение стрелового оборудования к конструкциям, находящимися над стреловым оборудованием, это так называемая защита «потолок».

Координатная защита может быть реализована несколькими способами:

- рабочая зона крана-манипулятора прописывается в ограничитель грузоподъемности заводом-изготовителем:
- ограничения вводятся оператором крана-манипулятора в зависимости от препятствий в рабочей зоне при начале работы.

Для большей информативности оператора о степени загрузки крана-манипулятора в панель управления ограничителя грузоподъемности встроена шкала загрузки, как правило, она разделена на три сегмента по диапазонам загрузки: первый – от 50 до 90% (зеленая зона), второй – от 90 до 100% (желтая зона) и третий – свыше 100% (красная зона). Также при загрузке крана манипулятора свыше 90% включается прерывистый звуковой сигнал, а при загрузке 100% и более – постоянный звуковой сигнал.

Автоматический ограничитель грузоподъемности также может ограничивать работу крана-манипулятора при неблагоприятных погодных условиях: при сильном волнении моря (более 2–3 баллов, ветре более 14 м/с) для этого он может получать необходимую информацию от соответствующей судовой системы.

Также автоматический ограничитель грузоподъемности может быть переведен в режим подъема людей, при этом грузоподъемность крана-манипулятора снижается и становится одинаковой во всей рабочей зоне. Координатная защита при этом не отключается.

К элементам системы безопасности крана-манипулятора можно отнести и запорно-тормозные элементы, устанавливаемые на гидроцилиндры подъема стрелы и рукояти и на гидроцилиндры телескопирования секций стрелы.

Указанные запорно-тормозные элементы открываются и позволяют выполнять рабочие операции крана-манипулятора только при подводе рабочей жидкости, при отсутствии подачи рабочей жидкости они запираются и надежно удерживают груз и стреловое оборудование от падения.

Питание КМУ рабочей гидравлической жидкостью подается от насосной станции. Гидравлическая насосная станция может размещаться в барбете крана, устанавливаться на палубе рядом с КМУ либо располагаться в помещениях судна. Возможно питание крана и от судовой системы гидравлики.

Познакомившись с общим устройством кранов-манипуляторов, перейдем к специфике, преимуществам и ограничениям их применения на судах.

Конструкция крана-манипулятора отличается от конструкции крана с жесткой стрелой тем, что манипулятор имеет гибкую (ломающуюся) стрелу, которая может изменять свое направление и длину (за счет телескопической части), также она может быть оснащена различными видами захватов для разных типов грузов.

За счет своей стрелы КМУ может работать над препятствием, в трюме или за бортом, перемещать груз лебедкой, телескопом, гидроцилиндром рукояти или гидроцилиндром изменения вылета. При подъеме груза с воды КМУ позволяет опустить оголовок стрелы максимально близко к объекту, при этом уменьшив длину тросового подвеса, а следовательно, снизив амплитуду раскачивания груза.

Такая стрела значительно расширяет рабочую зону и функциональные возможности крана, но при этом накладывает свои конструктивные ограничения на величину грузового момента и максимальный вылет. Конструктивно и экономически оправданным можно считать создание и применение крана-манипулятора с грузовым моментом до 1000 кНм, телескопической стрелой до 20 м, имеющего шесть-десять выдвижных секций.

Надо понимать, что такие ограничения – следствие и обратная сторона преимуществ КМУ. Как написано выше, краны-манипуляторы пришли в судостроение из строительно-дорожной отрасли, для которой КМУ выпускаются в широком типоряде и крупносерийным способом. Вследствие этого многие узлы и компоненты судового исполнения крана являются унифицированными с их сухопутными версиями. Отметим, что для сухопутных версий КМУ мощность и размеры в большей степени ограничены даже не конструктивными особенностями крана, а грузоподъемностью шасси и характеристиками аутригеров. Это, с одной стороны, делает возможным максимально широкое применение на судне функционального изделия, стоимость которого ниже, чем стоимость более простых типов судовых кранов, но выпускаемых единично или мелкосерийно, а с другой – ограничивает их конструкции и грузоподъемность заданным типорядом. То есть выпуск более мощных судовых КМУ и с более длинными стрелами конструктивно возможен, но экономически не оправдан.

Еще одна особенность и одновременно преимущество, вытекающее из серийного характера производства, - это использование в современных КМУ телескопических стрел гексагонального сечения. Такие стрелы более прочные, устойчивые и легкие по сравнению со стрелами прямоугольного сечения, применяемыми на судовых кранах, которые изготавливаются мелкосерийно.

К преимуществу судовых кранов-манипуляторов также можно отнести их малые габариты в походном положении (рис. 4), что не ограничивает обзор из ходовой рубки и позволяет их разместить на палубе в ограниченном пространстве. КМУ меньше мешают работе портового грузоподъемного оборудования при погрузочно-разгрузочных работах или работе более крупным грузовым краном, установленным совместно с КМУ на самом судне.

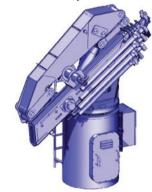


Рис. 4. Кран-манипулятор судовой в походном положении

Подытожив, можно выделить следующие основные преимущества применения кранов-манипуляторов относительно других типов кранов:

- 1) гибкость (манипуляторы обладают высокой степенью гибкости, что позволяет им работать в разных направлениях и выполнять сложные задачи, такие как перемещение грузов в ограниченном пространстве или на разных уровнях);
- 2) эффективность (манипуляторы могут управляться дистанционно, что делает их более эффективными в условиях ограниченного пространства или при работе с опасными грузами);
- 3) безопасность (использование манипуляторов на корабле снижает риск для экипажа, так как они не требуют непосредственного контакта с грузом);
- 4) экономия места (манипуляторы занимают меньше места на корабле, чем стреловые краны с жесткой стрелой, что важно для небольших судов);
- 5) универсальность (манипуляторы способны выполнять различные функции, такие как подъем, перемещение и укладка грузов, что делает их более универсальными, чем стреловые краны, которые обычно предназначены только для подъема и перемещения грузов).

ОПЫТ ПРЕДПРИЯТИЯ

«Компрессор» – единственный в стране разработчик и изготовитель специализированного компрессорного и газового оборудования для кораблей и судов всех типов и назначений, а также для многих других отраслей. Объединение поставляет:

- специальные компрессорные станции для нужд ВМФ;
- установки для очистки и глубокой осушки сжатого воздуха;
- холодильные установки, в том числе ремонт и модернизация;
- компрессоры пускового и рабочего воздуха для гражданских судов;
- специальная компрессорная техника для ракетных комплексов войск стратегического назначения и ПВО;
- комплексы компрессорного оборудования и систем для хранения, распределения газов, обеспечивающих запуск ракет-носителей;
- компрессоры и компрессорное оборудование для энергетического комплекса и атомной энергетики;
- винтовые компрессорные установки для «РЖД»;
- компрессоры буферного газа для газовой промышленности;
- установки подготовки топливного, пускового и импульсного газа;
- приборы автоматического управления с приемкой ВП МО РФ;
- приборы измерения и контроля параметров сжатого воздуха.

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

Предприятие имеет высококвалифицированное конструкторское бюро и производственную базу для создания современного наукоемкого оборудования, а также развитую сеть представительств службы сервисного и гарантийного обслуживания для обеспечения полного жизненного цикла излелий.

В судостроении эксплуатируется холодильное оборудование, в составе которого применяются иностранные холодильные компрессоры и автоматика. В нынешних геополитических и экономических обстоятельствах производители сталкивается с ограничением поставок широко применявшихся иностранных комплектующих, материалов и специализированного технологического оборудования.

АО «Компрессор» имеет лицензию и богатый опыт ремонта судовых холодильных установок и компрессоров для провизионных кладовых, ранее производившихся на Украине (типа 2 ФВБС4; АКГ3,2; УХП3,2; АКБ3,5; ФУБС15, АКБ12.5).

СОЗДАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО КОМПРЕССОРА ДЛЯ СУДОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Н.А. Кудла, аспирант СПбПУ, вед. инженер, **А.В. Бураков,** начальник ЦКБ, АО «Компрессор», **Р.Р. Хотский,** зам. начальника 808 ВП МО РФ, контакт. тел. (812) 295 5090

Одной из сфер деятельности АО «Компрессор» является создание роторных компрессорных станций для судостроения [1], а также комплексных судовых систем, в частности системы пневмообмыва корпуса судна [2, 3]. Предприятие постоянно совершенствует и внедряет новые технологии, направленные на увеличение эффективности роторных компрессоров [4].

ВЫБОР ТИПА КОМПРЕССОРА

Выбор типа компрессора для создания малошумных судовых холодильных установок должен осуществляться, исходя из требуемых характеристик, анализа особенностей эффективного использования компрессоров различных типор

Для оперативного импортозамещения иностранного компрессорного оборудования целесообразно выбрать технологически простой и контролепригодный, а следовательно, доступный тип холодильного малорасходного компрессора для применения во вновь разрабатываемых холодильных установках.

Критерии выбора подходящего компрессора следующие:

- наиболее простая конструкция;
- невысокая стоимость изготовления;
- малые габариты и вес;
- высокая эффективность;
- низкий уровень шума и вибрации.

Основной задачей выбора оптимального типа малорасходного компрессора является запуск его в серийное производство для применения в промышленных объемах в составе холодильного и климатического оборудования.

Рассмотрим основные типы нагнетателей (компрессоров), используемых в промышленности. По принципу действия различают компрессоры объемного действия и динамического действия. Компрессоры объемного действия в свою очередь разделяются на возвратно-поступательные (поршневые и мембранные) и роторные (винтовые, роторно-пластинчатые и спиральные). Компрессоры динамического действия разделяются на центробежные, осевые и вихревые.

На основании анализа материалов, приведенных в [6, 7], приведем характеристики серийно применяемых в промышленности компрессоров их недостатки и достоинства (табл. 1).

Использование центробежных и осевых компрессоров малой производительности нецелесообразно из-за увеличения относительных утечек при уменьшении массогабаритных показателей.

При производительности 200—500 м³/мин определенные перспективы развития имеют ротационные машины. В отличие от поршневых они не имеют возвратно движущихся деталей. Это позволяет обеспечить ротационным машинам высокую быстроходность, и, следовательно, малые габариты и вес

Несмотря на то, что ротационные холодильные машины известны уже давно, доля их на рынке сравнительно невелика, так как традиционные типы ротационных машин — ротационно-пластинчатые, двухроторные типа «Рутс» и жидкостно-кольцевые — по некоторым основным технико-экономическим показателям уступают поршневым.

Для анализа и выбора рационального и перспективного типа холодильного малорасходного компрессора нужно провести анализ различных схем объемных компрессоров. Самыми применяемыми видами ротационных холодильных объемных компрессоров можно назвать спиральный и винтовой.

К недостаткам спирального компрессора можно отнести:

- необходимость достаточно высокого технологического уровня изготовления и организации производства;
- сложность изготовления спиралей, обязательность использования более точной технологии в машиностроении;
- необходимость грамотного расчета и уравновешивания, а следовательно, и балансировки ротора, поскольку на подвижную спираль действует сложная система сил: осевых, тангенциальных, центробежных. При отсутствии нагнетательного клапана индикаторная диаграмма спирального компрессора по виду такая же, как и винтового с возможными эффектами «недожатия» и «пережатия» газа, т. е. с дополнительными потерями;
- использовать его на малой производительности (меньше 10 м³/мин) невыгодно из-за увеличения относительных утечек рабочего тела через зазоры. Одновременно с этим сложны в изготовлении винты;

Параметры серийных промышленных компрессоров

| Тип компрессора | Параметры | Недостатки | Достоинства | |
|-----------------|--|---|---|--|
| | ΔP = 0,1-40 MΠa | | | |
| | $Q = 0.1 - 100 \text{ m}^3/\text{muh}$ | Наличие значительного числа трущихся деталей, малый | Широко применение в областях малы | |
| Поршневой | n = 1000-3000 об/мин | ресурс клапанных узлов и высоких давлений | производительностей | |
| | N = 0.25 - 1000 kBT | | • | |
| | ΔP = 0,1-90 MΠa | | Populari swaat toksamu o n | |
| Marienanni | $Q = 0,1-10 \text{ м}^3/\text{мин}$ | Низкая производительность большие габаритные раз- | Возможность сжимать токсичные и | |
| Мембранный | n = 500-1000 об/мин | меры и масса высокий уровень шума | вредные газы без загрязнения и | |
| | N = 0.25 - 100 kBt | | маслом | |
| Винтовой | ΔP = 0,1-2,0 ΜΠα | При увеличении производительности и давления воз- | Высокий ресурс регулировка произ- | |
| | $Q = 0,1-40 \text{ м}^3/\text{мин}$ | | 1 71 1 7 1 | |
| одноступенчатый | n = 1500-7000 об/мин | растает масса и размеры, пульсация потока | водительности, отсутствие инерцион- | |
| двухступенчатый | N = 2,0 - 350 kBt | | ных нагрузок | |
| Ротационный | $\Delta P = 0,1-1,2 \text{ M}\Pi a$ | | Компактность, отсутствие клапанов | |
| одноступенчатый | $Q = 0,1-100 \text{ м}^3/\text{мин}$ | Ограниченность конечного давления | равномерность подачи, уравнове- | |
| двухступенчатый | n = 500-5000 об/мин | | шенность | |
| двухступенчатыи | N = 0,1-100 kBT | | шенность | |
| | $\Delta P = 0,01-1,2 \text{ M}\Pi a$ | | | |
| Спиральный | Q = 0.01 до 1 м ³ /мин | Повышенные требования к точности изготовления | Эффективность, надежность, долговечность, низкий уровень шума | |
| Спиральный | n = 1500-3000 об/мин | и сборки, значительные нагрузки на подшипники | | |
| | N = 2,2-7,5 kBT | | | |
| | $\Delta P = 0,1-5 \text{ M}\Pi a$ | | Сжатие без масла, отсутствие пуль | |
| Центробежный | | Рабочие колеса сложные детали с профилированными | сации, эффективность при больших | |
| дептроосживи | n = 8000-20000 об/мин | лопатками образующими каналы | расходах | |
| | N = 5000 – 30000 кВт | | рисходих | |
| | $\Delta P = 0,1-0,6 \text{ M}\Pi a$ | Проблемы прочности рабочих колес, сложность регу- | - Высокая КПЛ высокая произволитель | |
| Осевой | $Q = 300 - 10000 \text{ м}^3/\text{мин}$ | лирования, малая эффективность уплотнений и под- | | |
| 0 0000011 | n = 8000 – 20 000 об/мин | шипников | альные размеры | |
| | N = 5000 – 30 000 кВт | EVITIVINOS | | |
| | $\Delta P = 0,1-1,2 \text{ M}\Pi a$ | | Простота конструкции, низкая стои- | |
| Вихревой | $Q = 0.1 - 50 \text{ m}^3/\text{muh}$ | Низкий КПД (30–55%) | мость изготовления, высокая надеж- | |
| | n = 1500 – 3000 об/мин | | ность | |
| i | N = 0.25 до 50 кВт | | nocib | |

- воздходувки типа «Рутс» имеют большую металлоемкость при изготовлении. Кроме того, они неэкономичны, так как не обеспечивают внутреннего сжатия рабочего тела;
- шум, основным источником которого в воздуходувках являются пульсации давления.

Отсюда можно сделать вывод, что ротационные компрессоры наиболее реализуемые, поскольку их отличают:

- наличие небольшого числа деталей, простота конструкции, относительно — низкая стоимость изготовления;
- надежность в эксплуатации, простое обслуживание;
- хорошие массогабаритные показатели, особенно у пластинчатых (ПРК);
- отсутствие клапанов на всасывании, а в некоторых типах и на линии нагнетания, что снижает суммарные газодинамические потери;
- малый уровень шума, а при двухступенчатый компрессор может обеспечить низкую вибрацию.

Использование ротационных компрессоров позволяет осуществить высокоэффективный рабочий процесс с малой объемной производительностью при давлениях нагнетания

до 10 кгс/см² в одной ступени. При большой производительности этот тип компрессоров уступает винтовым по габаритным характеристикам.

Объемные ротационные машины имеют циклический рабочий процесс, который осуществляется в замкнутых рабочих камерах переменного объема. В машинах этого типа поршень (ротор) вращается вокруг неподвижной оси или совершает планетарное движение. Конструктивно он может быть выполнен в виде поршня, заслонки, пластины, лопасти и т.д.

В холодильной технике [8] применяют ротационные компрессоры (РК) с катящимся ротором, ось которого вращается вокруг оси цилиндра (ротор при этом прокатывается по цилиндру), и компрессоры с вращающимся ротором, ось которого фиксируется относительно оси цилиндра (пластинчатые РК). На рис. 1 показан разрез РК.

В основе ротационных машин лежит сравнительно немного простейших механизмов.

Ротационные компрессоры в герметичном исполнении (см. рис. 2) используются для бытовых автономных кондиционеров, холодопроизводительностью примерно до 4000 Вт и бытовых холодильников холодопроизводительностью до 800 Вт.



Puc. 1. **Разрез ротационного ком- прессора**



Рис. 2. Внешний вид герметичного ротационного компрессора

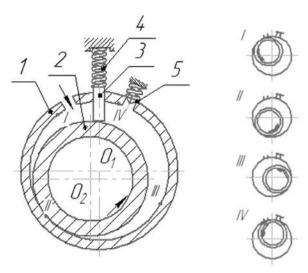


Рис. 3. Принципиальная схема работы ротационного компрессора

Принципиальная схема компрессора с катящимся ротором представлена на рис. 3. В цилиндрическом корпусе 1 вращается ротор 2, насаженный на эксцентриковый вал. При вращении вала вокруг оси 0 ротор прокатывается по внутренней поверхности цилиндра. Пластина (лопасть) 3 плотно прижимается к ротору пружиной 4 и делит серповидную полость, образующуюся между цилиндром и ротором, на две изолированные части (всасывающую и нагнетательную).

Если ротор находится в верхнем положении I, полость всасывания соединяется со всасывающей стороной компрессора. В этом положении начинается процесс всасывания в одной полости и сжатия в другой. При дальнейшем вращении ротора на всасывающей стороне увеличивается объем серповидной полости, образованной цилиндром и поршнем.

В другой полости давление сжатия возрастает (положение II). Когда давление сжатия превысит давление в нагнетательной полости цилиндра, открывается клапан 5 (положение III) и сжатый пар поступает в нагнетательный трубопровод. В положении III всасывающая полость занимает максимальный объем. В положении IV заканчивается процесс нагнетания, и ротор вновь начинает осуществлять процесс сжатия.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ КОМПРЕССОРА

Рассмотрим теоретический объем ротационного компрессора. Теоретический цикл холодильной машины с поршневыми и ротационными компрессорами одинаков. Особенностью ротационного компрессора является более сложная зависимость объема, описанного ротором, от угла поворота вала.

В компрессоре с катящимся ротором ось цилиндра неподвижна, а ось ротора описывает вокруг нее окружность, ради-

ус которой равен эксцентриситету вала $e = R_{u} - R_{o}$, (1)

где $R_{_{\rm II}}$ и $R_{_{\rm p}}$ – радиусы цилиндра и ротора. Объем камеры сжатия

$$V_{cx} = Hf_{cx},$$
 (2)

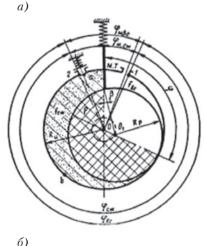
где H — высота цилндра; $f_{\rm cw}$ — площадь камеры сжатия (рис. 4,a).

Площадь камеры сжатия

$$f_{\text{\tiny CM}} = \frac{1}{2} \left(\int_{\varphi}^{2\pi} R_{\text{\tiny L}}^2 d\varphi - \int_{\varphi}^{2\pi} \rho^2 d\varphi \right).$$

Общий объем полостей сжатия и нагнетания

$$V_{1} = \pi \left(R_{11}^{2} - R_{0}^{2} \right) H. \tag{3}$$



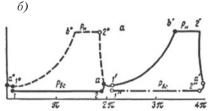


Рис. 4. **Схема (а) и индикаторная диа-** грамма **(б) ротационного компрессора**

При верхнем положении лопасти весь этот объем заполнен всасываемым паром.

Объем, описанный ротором компрессора,

$$V_n = cV_1 n , \qquad (4)$$

где n — частота вращения; c — постоянная.

Процессы всасывания, сжатия и выталкивания в ротационном компрессоре с катящимся ротором происходят не за один, а за два оборота вала. Поэтому скорости всасывания и сжатия здесь примерно вдвое меньше, чем в поршневом компрессоре.

Всасывание начинается в точке 1 (рис. 4, a, 6), когда ротор открывает всасывающее отверстие цилиндра, и заканчивается в точке 2, когда ротор проходит нагнетательное отверстие. В этот момент во всасывающую полость, уже заполненную паром, поступает сжатый пар из мертвого пространства, происходит обратное расширение.

Во время второго оборота вала пар сжимается, вплоть до момента открытия нагнетательного клапана (точка b). Потом происходит выталкивание (b-2) и далее вновь обратное расширение.

Рассмотрим особенности рабочего процесса. Причины, вызывающие объемные и энергетические потери в ротационных компрессорах в основном те же, что и в поршневых, поэтому для их оценки используют такие же объемные и энергетические коэффициенты.

Исследование рабочих процессов герметичных компрессоров с катящимся поршнем при работе на фреонах-12, -22 и -502 было выполнено В.С. Крыловым в лаборатории РЗХМ.

При расширении пара из мертвого пространства во всасывающую полость температура всасываемого пара растет, давление незначительно повышается (на ~10 кПа), и часть пара перетекает из цилиндра в кожух компрессора. При этом работа расширения теряется в отличие от того, что происходит в поршневом компрессоре. Мертвый объем у ротационного компрессора гораздо меньше (на 1-2%), поэтому коэффициент подачи выше.

В целом объемный коэффициент λ_e можно определять, приняв показатель политропы обратного расширения равным показателю адиабаты κ .

Дроссельные потери ротационного компрессора в связи с отсутствием всасывающего клапана весьма малы: падение давления во всасывающем канале исследованных компрессоров не превышает 1,5 кПа. В связи с этим коэффициент дросселирования принимают равным единице.

Основные объемные потери вызваны подогревом пара во всасывающем канале. Температура пара в цилиндре в начале сжатия, как показали измерения безынерционным термометром, практически равна средней температуре его стенок, как и в поршневых герметичных компрессорах. Как и для поршневых компрессоров, подогрев всасывае-

мого пара происходит главным образом во всасывающем канале. Коэффициенты плотности в ротационных компрессорах играют более важную роль, чем в поршневых, в связи с относительно большей протяженностью зазоров полости сжатия. Протечки через эти зазоры зависят от подачи масла (в полость сжатия), которая должна быть гораздо больше, чем в поршневых компрессорах. В целом коэффициенты подачи ротационных компрессоров с катящимся ротором на 10–20% выше, чем поршневых близкой производительности, что объясняется более высокими значениями объемного коэффициента.

Энергетические потери в ротационном компрессоре, как и в поршневом, зависят в первую очередь от электрических и механических потерь, далее — от подогрева всасываемого пара, протечек и падении давления в нагнетательном клапане. Основные механические потери происходят при трении между ротором и крышками цилиндра, а также между лопастью и ротором (в пластинчатых компрессорах — между пластинами и цилиндром).

ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Крупносерийное изготовление фреоновых компрессоров в СССР было начато в 1949 г. Наибольшее распространение получили фреоновые компрессоры 2ФВ4, входящие в агрегаты типа ФАК производства ХЗХМ.

На рижском заводе холодильных машин наряду (РЗХМ) с поршневыми было освоено производство малых фреоновых ротационных компрессоров ФРУ (в дальнейшем – РКФ и МРФ) холодопроизводительностью 800–1300 Вт (700–1100 ккал/ч), с частотой вращения 10,8–14,2^{с-1} (650 –850 об/мин) [8].

С 1966 г. РЗХМ начал выпуск герметичных ротационных компрессоров Φ Гр0,35~1 А номинальной холодопроизводительностью 405 Вт (350 ккал/ч), с частотой вращения 25 с⁻¹ (1500 об/мин). Впоследствии ХЗХМ и РЗХМ начали производство герметичных компрессоров с синхронной частотой вращения 50 с⁻¹ (3000 об/мин).

Производство малых ротационных компрессоров было начато несколько позже, чем поршневых, и росло медленнее, но количество их типов было несравненно больше. Изготовлялись компрессоры с катящимся, качающимся и вращающимся ротором, последние — с двумя, четырьмя и многими пластинами, с круглым и эллипсным цилиндром (каждая часть последнего работает как отдельный ротационный компрессор). Существовали также модели с трохоидными цилиндром и ротором.

Но в настоящее время широко распространены только следующие более технологичные конструкции: с катящимся ротором и одной лопастью, изготовляемые, в частности РЗХМ (СССР), фирмами «Дженерал электрик» (США), «Дайкин», «Санио» (Япония); пластинчатые – с вращающимся ротором, двумя или четырьмя пластинами, изготовляемые фирмами «Верлпул» (США), «Галилео» (Италия). Основная область применения — кондиционеры.

Пластинчатые компрессоры компактней, чем поршневые, и не требуют разгрузки при пуске — сжатие начинается только после повышения частоты вращения до заданного предела. Однако потери трения и температура конца сжатия у них выше, износ пластин больше. В пластинчатых компрессорах давление конца сжатия определяется размерами камер сжатия; при понижении температуры конденсации оно не снижается, и компрессор работает менее экономично.

Также компрессоры с катящимся ротором производительностью от 2000 до 4000 Вт, при работе на фреоне-12 и -22 начали шире применяться в бытовых кондиционерах.

Среднетемпературные герметичные ротационные компрессоры Φ Гр0,35 ~1 A с катящимся поршнем номинальной холодопроизводительностью 405 Bт (350 ккал/ч) изготавливал РЗХЛ. Частота вращения 25 с⁻¹, диаметр цилиндра — 53 мм, высота — 33 мм, эксцентриситет — 3,5 мм. Диаметр кожуха компрессора — 230 мм, высота — 270 мм.

Основные детали компрессора (см. рис. 5): цилиндр 17, ротор 18, лопасть 15 с пружиной 16, крышки цилиндра 8 и 11, эксцентриковый вал 14. Нагнетательный клапан упругий консольный. Крышка 5 клапана служит нагнетательным глушителем.

Статор 1 электродвигателя запрессован в штампованный стакан 4, к которому тремя болтами прикреплен собственно компрессор. Пружина 6 прижимает компрессор и стакан 4 статора к верхней половине 13 кожуха 9 (для этого служат специальные выступы 12). Проходные контакты и пускозащитное реле 3 закрыты крышкой 2. Компрессор устанавливают на наружных резиновых виброизоляторах на лапах 10. У входа в масляный насос эксцентрикового вала расположен фильтр 7.

Лопасть 15 прижата к ротору пружиной 16, а также давлением пара, который подается в пространство над лопастью из камеры сжатия по специальным сверлениям.

Ранее РЗХМ изготовлял компрессор ФГр0,35 ~1 А той же производительности и с теми же основными конструктивными элементами, но с другим встроенным электродвигателем. Вместо конденсаторного пуска в новой конструкции применена бо-

лее простая схема с расщепленной фазой. При этом масса двигателя увеличилась, но масса электрической аппаратуры снизилась вследствие исключения электрических конденсаторов.

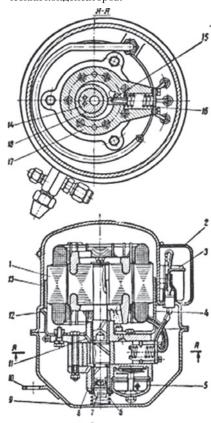


Рис. 5. **Герметичный ротационный** компрессор **ФГр0,35~1** A

РЗХМ разработана серия ротационных компрессоров с частотой вращения 50^{c-1} (табл. 2).

Диаметр подшипника первых трех моделей принят равным 16 мм, двух последних — 20 мм. Таким образом, как и в поршневых герметичных компрессорах, предусмотрена высокая степень унификации.

При проектировании унифицированного ряда компрессоров на РЗХМ было определено, что эффективность конструкции ротационных компрессоров определяется двумя безразмерными величинами:

относительным эксцентриситетом

$$\overline{e} = \frac{e}{R_o}, \tag{5}$$

и относительной высотой цилиндра

$$\bar{H} = \frac{H}{D_{-}} \,. \tag{6}$$

При определений оптимальных значений этих параметров должны учитываться некоторые противоречивые факторы. С ростом эксцентриситета увеличивается производительность, но одновременно растет и контактное напряжение в паре лопасть— цилиндр. С увеличением высоты уменьшаются нагрузки подшипников, но ухудшаются тепловые и энергетические ко-

Характеристики серии холодильных компрессоров РЗХМ

| Модель | Номинальная холодопроиз- водительнось | | Эксцентриситет, мм | Диаметр, мм | | |
|---------------|--|--------|--------------------|-------------|--------|--|
| | Вт | ккал/ч | • | цилиндра | ротора | |
| ФГр С 0,22 | 255 | 220 | 3,0 | 48 | 42 | |
| ФГр С 0,28 | 325 | 280 | 3,0 | 48 | 42 | |
| ФГр С 0,35 | 405 | 350 | 3,0 | 48 | 42 | |
| ФГр С 0,45 | 525 | 450 | 3,5 | 52 | 45 | |
| ФГр С 0,55 | 640 | 550 | 3,5 | 52 | 45 | |

эффициенты и растет стоимость изготовления.

Было найдено, что для данного ряда оптимальные значения относительного эксцентриситета находятся в пределах от 0,14 до 0,16, а относительной высоты — от 0,25 до 0,75. Толщина лопасти принята $b \ge 2e$ (в иностранных конструкциях $0,6e \le b \le e$) высота цилиндра — от 12,5 до 24,5 мм [9].

ПРОРАБОТКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Для отработки внедрения ротационных компрессоров с учетом накопленного опыта был предложен к освоению опытный образец такого компрессора со следующими параметрами: холодопроизводительность 800–3000 Вт. Принимаем по результатам расчетов и с учетом рекомендаций усредненное значение для унифицированных цилиндра и ротора (табл. 3).

Создаваемые компрессоры в перспективе позволяют заменить широко применяемые в малых холодильных установках в судостроении и кондиционерах наземных объектов компрессоры иностранного производства, например GMCC, Toshiba, LG, Mitsubishi Electric, Panasonic, имеют идентичные габаритные и присоединительные размеры, автоматику с доступной компонентной базой и КИП, что позволяет интегрировать оборудование в холодильные судовые системы и поддерживать на всех этапах жизненного цикла.

На протяжении многих лет холодильное и климатическое оборудование, в том числе для судостроения, закупалось за границей, это негативно сказалось на развитии отечественного научно-технического потенциала и привело к практически полному отсутствию производства отечест-

Таблица З

Технические данные опытного образца ротационного компрессора

| Модель | Номинальная холодопро- ь изводительность | | Эксцентриситет, мм | Диаметр, мм | | |
|----------|---|--------|--------------------|-------------|--------|--|
| | Вт | ккал/ч | | цилиндра | ротора | |
| HK P 2,7 | 2680 | 2304 | 4,25 | 42,5 | 34 | |

выводы

Использование ротационных компрессоров позволяет достичь высоких показателей компактности холодильной установки, низкого шума, простоты конструкции, долговечности и надежности.

венных холодильных компрессоров и других компонентов холодильных установок.

В нынешних условиях беспрецедентного давления со стороны стран Запада отечественная промышленность сталкивается с отсутствием широко применявшихся европейских ма-

териалов, комплектующих, современного технологического оборудования.

Таким образом, освоение производства холодильных ротационных компрессоров, не требующих дорогостоящего специализированного технологического оборудования, технически реализуемо и перспективно при поддержке отечественного производителя и закупке исключительно российского оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

- Кузнецов Л. Г., Бураков А. В., Комлов Н. А., Семенов А. А. Роторные компрессорные станции для кораблей ВМФ, гражданского флота, нефтегазового сектора и энергетики//Морской вестник. – 2021. – № 3 (79). – С. 55–58.
- 2. Кузнецов Л. Г., Кузнецов Ю. Л., Бураков А. В., Котлов Н. А. Применение роторных компрессорных систем АО «Компрессор» для эффективного решения задач пневмообмыва корпуса ледокола и в альтернативных гражданских проектах//Морской вестник. 2018. № 2 (66). С. 41–44.
- Патент на полезную модель, РФ, № 183205. Источник сжатого воздуха системы воздушной смазки подводной части корпуса судна/Кузнецов Л. Г., Кузнецов Ю. Л., Бураков А. В., Котлов Н. А. – Опубл. 13.09.2018.
- Кузпецов Л. Г., Кузпецов Ю. Л., Бураков А. В., Кудла Н. А. Повышение эффективности роторных компрессоров//Науч.-техн. ведомости СПбПУ: Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 25. № 1. С. 101–110. DOI 10.18721/JEST.25110.
- Патент на изобретение, РФ, № 2660701.
 Роторный нагнетатель/КузнецовЛ. Г., Кузнецов Ю. Л., Бураков. А.В. – Опубл. 09.07. 2018.
- Пронин В.А. Тенденции развития компрессорной техники//Холодильная техника и кондиционирование. 2014. Вып. №1(14).
- 7. *Хлумский В*. Ротационные компрессоры и вакуум-насосы. СПб.: Машиностроение, 1971, с. 127
- 8. *Петров Ю. С.* Судовые холодильные машины и установки. Л.: Судостроение, 1991.
- Якобсон В.Б. Малые холодильные машины. – М.: Пищевая промышленность, 1977. ■

втоматические системы (АСК) низкочастотного электромагнитного поля кораблей проектируются в настоящее время с применением компенсационных обмоток, целиком охватывающих источник электромагнитного поля. Компенсационные обмотки, представляющие собой контуры круглой или прямоугольной формы, имеют следующие достоинства:

- простота конструкции;
- минимальные материальные затраты;
- возможность использования стандартной кабельной продукции;
- малое число витков, требующееся для создания компенсационного момента.

Основные недостатки компенсационных обмоток, выполненных в виде контуров из силового кабеля:

- значительные габаритные размеры обмоток;
- сложность соблюдения требований ортогональности при наложении их на источники электромагнитного поля.

В случае использования контурных обмоток типовой конструкции для компенсации электромагнитного поля главных распределительных щитов (ГРЩ) наблюдается более или менее благоприятная ситуация. ГРЩ имеют форму правильного параллелепипеда, на их внешних поверхностях есть зоны, свободные от органов управления. Поэтому типовые контурные компенсационные обмотки могут быть проложены с максимальной ортогональностью их магнитных осей. Также их прокладка не мешает эксплуатации ГРШ по прямому назначению, в том числе при выполнении эксплуатационных работ внутри ГРЩ, когда требуется обеспечить доступ к внутреннему содержимому.

Иная ситуация складывается в случае наложения контурных обмоток на дизель-генераторы (ДГ). Конструкция дизель-генераторов имеет сложную форму, отмечается наличие большого количества выступающих частей. Изза этих обстоятельств типовые контурные обмотки невозможно не только проложить строго ортогонально, но также обеспечить их оперативный демонтаж при выполнении регламентных работ с ДГ. На рис. 1 показаны типичные случаи неэффективной прокладки контурных компенсационных обмоток, вследствие чего нарушается не только их ортогональность, но и плоскостность.

Поскольку контроль качества компенсации электромагнитного поля проводится на контрольной глубине, которая на порядок превышает максимальный размер компенсируемого источника электромагнитного поля, имеется возможность разместить источник компенсирующего магнитного поля не на самом объекте, а вблизи него.

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ В КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ КОМПЕНСАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В.Н. Грачёв, гл. инженер,

Б.Ю. Семёнов, начальник сектора— гл. конструктор направления СКЭМП, AO «НПФ «Меридиан»,

контакт. тел. (812) 233 6600, (812) 602 0364 доб. 526

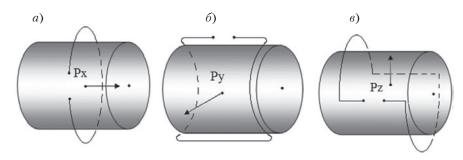


Рис. 1. Пример неэффективной прокладки компенсационных обмоток на корпусе ДГ: а – компонента X; б – компонента Y; в – компонента Z

Поскольку на контрольной глубине характер пространственного распределения электромагнитного поля объекта компенсации и источника компенсирующего магнитного поля будет дипольным, суперпозиция магнитных полей двух диполей в этом случае будет стремиться к нулевому значению независимо от пространственной конфигурации источников.

Учитывая данное обстоятельство, возникла идея о возможности замены крупногабаритной контурной конструкции источника компенсирующего поля на конструкцию в виде локального электромагнитного компенсатора (ЭМК), традиционно применяющегося в составе систем компенсации постоянных магнитных полей корпусных конструкций.

Нижеследующие расчеты были предприняты с целью оценки возможности технического применения ЭМК в составе корабельных систем АСК.

СОЗДАНИЕ ДИПОЛЬНОГО МАГНИТНОГО МОМЕНТА

Дипольный магнитный момент, создаваемый компенсационной обмоткой контурного типа, может быть рассчитан по хорошо известной формуле

$$P_m = I \cdot S \cdot w, \tag{1}$$

где P_{m} — магнитный момент, $\Lambda \cdot \mathbf{m}^{2}$; I — ток в одном витке компенсационной обмотки, A; S — площадь контура, охватываемая витками обмотки, \mathbf{m}^{2} ; w — число витков компенсационной обмотки, шт.

Параметры типовой контурной компенсационной обмотки, необходимые для дальнейшего анализа, приведены ниже.

Параметры типовой контурной компенсаиионной обмотки

| nomicicuquonnou oomomnu | | | | |
|--|----------|--|--|--|
| Параметр | Значение | | | |
| Площадь контура обмотки S , м 2 | 1,0 | | | |
| Ширина обмотки A , м | 1,0 | | | |
| Высота обмотки В, м | 0,88 | | | |
| Ток обмотки <i>I</i> , А | 6,0 | | | |
| Число витков обмотки w, шт | 3 | | | |
| Магнитный момент P_m , $A \cdot M^2 \dots$ | 16 | | | |
| Активное сопротивление | | | | |
| обмотки <i>R</i> , Ом | 0,7 | | | |
| Индуктивность обмотки $L_{\text{инд}}$, мк Γ | н 30 | | | |
| | | | | |

Индуктивность компенсационной обмотки $L_{\text{инд}}$ контурного типа рассчитана приближенно с помощью свободно распространяемой программы для расчета индуктивностей [3] для модели контура квадратной конфигурации.

Далее выполним расчет типового электромагнитного компенсатора с магнитным моментом, численно равным магнитному моменту контурной компенсационной обмотки.

ЭМК состоит из ферромагнитного сердечника длиной L и диаметром d с полюсными наконечниками увеличенного диаметра D. На сердечник намотана обмотка с числом витков w (рис. 2). Через обмотку протекает компенсационный ток L

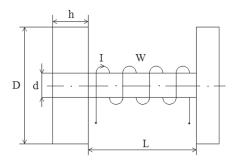


Рис. 2. К расчету магнитного момента электромагнитного компенсатора

Магнитный момент электромагнитного компенсатора Р " с полюсными наконечниками может быть рассчитан по методике, приведенной в [1], или с небольшой погрешностью без учета нелинейности характеристики намагничивания материала ферромагнитного сердечника по упрощенной формуле

$$P_m = 2\left(L+h\right)\left[1+\sqrt{\frac{2h}{D}}\right]DIw$$
, (2), где L – длина сердечника, м; h – толщи-

на полюсного наконечника, м; D – диаметр полюсного наконечника, м; I – ток обмотки, А; w - количество витков обмотки.

Результаты расчета конструктивных и электромагнитных параметров ЭМК приведены далее.

Результаты расчета конструктивных и электромагнитных параметров ЭМК

| Параметр | Значение |
|--|--------------|
| Длина сердечника L , м | 0,13 |
| Диаметр сердечника d , м | $\dots 0,02$ |
| Толщина полюсного | |
| наконечника h , м | 0,05 |
| Диаметр полюсного | |
| наконечника D , м | 0,06 |
| Ток обмотки I , А | 6,0 |
| Число витков обмотки ω , шт | 117 |
| Магнитный момент P_m , $A \cdot M^2 \dots$ | 16 |

Как видно из приведенных данных, электромагнитный компенсатор без учета размеров корпуса имеет размеры 230×60×60 мм, что существенно меньше габаритных размеров компенсационных обмоток контурного типа, наибольший габаритный размер которых составляет 1-2 м, и может быть не только легко размещен в доступном месте рядом с дизель-генератором, но и строго ориентирован в направлении магнитной оси.

ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АСК С ЭМК

Теперь оценим проблемы, которые могут встать перед инженерами, поставившими цель применить ЭМК в составе АСК. Как показывает ниже приведенный анализ, наиболее существенными здесь становятся технические требования к аппаратуре управления системами АСК.

Поскольку электромагнитные компенсаторы традиционно применяются в системах автоматического управления, где ток управления является практически постоянной величиной либо медленно меняется во времени с частотой 0,25-0,5 Гц, индуктивность обмотки ЭМК вносит пренебрежимо малый вклад в динамическую погрешность компенсации магнитного поля. Системы АСК требуют наличия в обмотках ЭМК переменного тока частоты 50 Гц, и пренебречь влиянием индуктивного сопротивления обмотки уже нельзя.

Проведем расчет индуктивности обмотки компенсатора $L_{\mbox{\tiny инл}}$ с конструктивными параметрами, приведеннымивыше, по методике, изложенной в [2]. Индуктивность компенсатора приближенно можно вычислить по формуле для многослойной катушки индуктивности с цилиндрическим сердечником:

$$L_{_{\rm ИНД}} = \frac{5\mu_0}{4\pi} w^2 \frac{d_{cp}^2}{L} \mu_{_{\rm 9KB}},\tag{3}$$

 $L_{_{\rm HH,I}} = \frac{5\mu_{_0}}{4\pi} \, w^2 \, \frac{d_{_{cp}}^2}{L} \mu_{_{_{\rm JKB}}}, \qquad (3)$ где $\mu_{_0}$ — магнитная постоянная, $4\pi\cdot 10^{.7}\, \Gamma_{\rm H/M}; \, w$ — количество витков обмотки; $d_{\scriptscriptstyle \mathrm{CD}}$ – средний диаметр намотки, м; L – длина намотки, м; μ_{a} – эквивалентная магнитная проницаемость сердечника, относительные единицы.

Эквивалентную проницаемость сердечника µ можно определить по приближенной формуле

$$\mu_{9} = \left(\frac{L}{d_{\rm cp}}\right)^{2} \cdot \frac{1}{\ln\ln\left(\frac{L}{d_{\rm cp}}\right) - 0,818}.$$
 (4)

Принимая $d_{\mbox{\tiny cp}}$ как среднее арифметическое между диаметром сердечника *d* и диаметром полюсного наконечника D, в соответствии с формулами (2) и (3) получаем индуктивность компенсатора $L_{_{
m HHJ}}$ = 250 мГн. Нетрудно рассчитать, что к ЭМК

с ферромагнитным сердечником необходимо приложить напряжение с действующим значением 470 В, чтобы создать необходимую величину тока 6 А на частоте 50 Гц. Следовательно, аппаратура управления током в обмотке ЭМК должна обеспечить выдачу в нагрузку полной мощности порядка 3 кВА, из которой основная доля приходится на реактивную составляющую. Это обстоятельство представляет собой значительную проблему, поскольку существующая аппаратура управления АСК типа АПК-21М позволяет питать нагрузку напряжением не более 5 В при максимальной выходной мощности не более 30 Вт, из которых основная часть приходится на активную мощность потерь в омическом сопротивлении обмотки.

На рис. З показан результат моделирования в программе МісгоСАР выходного тока, протекающего в обмотке ЭМК при подаче на аппаратуру управления

типа АПК-21М управляющего сигнала с номинальным значением 300 мВ (верхний график на рис. 3). При данном управляющем воздействии в компенсационной обмотке контурного типа обеспечивается ток величиной 6 А.

Однако ток в обмотке ЭМК (нижний график на рис. 3) при номинальном входном сигнале аппаратуры управления оказывается существенно ниже требуемого. Это означает, что система АСК находится в неработоспособном состоянии, поскольку «недобирает» требуемую величину компенсационного магнитного момента. Более того, ток в обмотке ЭМК имеет большой фазовый сдвиг относительно управляющего сигнала и изменяется по линейному закону, что недопустимо для систем АСК, в которых закон изменения во времени величины компенсационного магнитного момента должен повторять закон изменения величины магнитного момента источника низкочастотного электромагнитного поля.

Причина значительного уменьшения тока в обмотке ЭМК при номинальном управляющем сигнале АСК кроется в значительном индуктивном сопротивлении ЭМК, которое на частоте 50 Гц равно почти 80 Ом. Сравним это значение со значением индуктивного сопротивления компенсационной обмотки контурного типа, которое составляет 0,01 Ом на частоте 50 Гц и пренебрежимо мало по сравнению с омическим сопротивлением провода.

На рис. 4 показан результат моделирования в программе MicroCAP выходного тока, протекающего в компенсационной обмотке контурного типа при номинальном входном сигнале АСК, равном 300 мВ (верхний график на рис. 4). Ток в обмотке контурного типа (нижний график на рис. 4) соответствует номинальному значению 6 А и имеет пренебрежимо малый фазовый сдвиг относительно управляющего сигнала. Кроме этого, ток компенсации изменяется по закону изменения магнитного момента источника низкочастотного электромагнитного поля.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ АСК СЭМК

Приведенные выше результаты расчетов позволяют сделать вывод, что применение ЭМК в составе систем АСК сопряжено с коренным пересмотром технических требований, предъявляемых к аппаратуре управления АСК, а также к параметрам ЭМК. Иными словами, разработка аппаратуры управления АСК, обеспечивающей работу с ЭМК, должна проводиться комплексно с разработкой ЭМК.

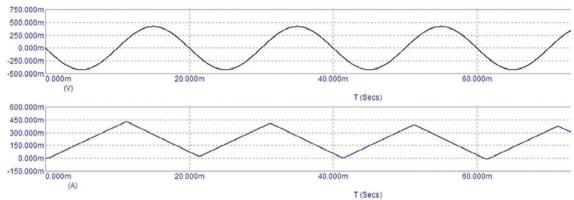


Рис. 3. Результат моделирования тока обмотки ЭМК

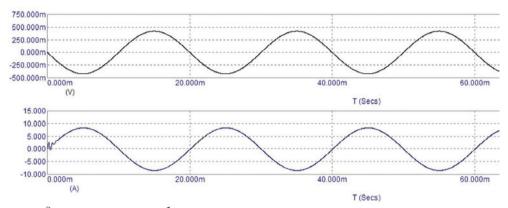


Рис. 4. Результат моделирования тока в обмотке контурного типа

Какие основные параметры ЭМК и, соответственно, параметры аппаратуры управления АСК могут обеспечить технически достижимый оптимальный результат? Прежде всего, необходимо обеспечить минимально возможное значение индуктивности обмотки ЭМК. Исходя из квадратичной зависимости величины индуктивности $L_{\mbox{\tiny инл}}$ от числа витков обмотки w, что отражает выражение (3), при уменьшении количества витков в 20 раз, индуктивность ЭМК снизится в 400 раз и составит порядка 600 мкГн. На частоте 50 Гц величина индуктивного сопротивления обмотки ЭМК в этом случае станет около 0,2 Ом, а это уже приемлемая величина для обеспечения величины максимального напряжения на выходе аппаратуры управления не более 3–4 В.

К сожалению, уменьшение числа витков ЭМК приводит к необходимости увеличения в них управляющего тока. Для данного случая номинальный ток аппаратуры управления должен соста-

вить порядка 120 А, что значительно превышает номинальный ток 6 А серийной аппаратуры АПК-21М. Поэтому существующая схемотехническая реализация аппаратуры АПК-21М должна быть пересмотрена коренным образом, а именно необходимо:

- отказаться от усилителей мощности, построенных на основе линейных схем;
- разработать высокодинамичный управляемый статический преобразователь на основе элементной базы силовой электроники.

Только в этом случае идея использования ЭМК в составе систем АСК получит возможность практической реализации и серийного внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования установлено, что применение ЭМК в системах АСК представляет собой задачу, в которой должно быть обеспечено минимально возможное значение собственной индуктивности ЭМК. Собственная индуктивность ЭМК влияет на величину компенсационного магнитного момента, ухудшая параметры системы АСК при работе по прямому назначению.

Использование ЭМК в составе АСК возможно при условии существенного пересмотра технических требований, предъявляемых к аппаратуре управления АСК, внедрении схемотехнических решений на основе современной элементной базы силовой электроники.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Предварительная методика расчета судовых электромагнитных компенсаторов постоянного тока в заданных габаритах. Тема A-XXVIII-221, ЦНИИ им акад. А. Н. Крылова, Л., 1986 г.
- Русин Ю. С. и др. Электромагнитные элементы радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1991.
- 3. *Кустарев В*. Прикладная программа для расчета индуктивности Coil64. http://coil32.net. ■

ВВЕДЕНИЕ

алопровод является частью судовой энергетической установки (ЭУ). Он представляет собой систему валов (гребной, промежуточный, упорный). Назначение валопровода — передача механической энергией от главного двигателя к движителю и передача развиваемого движителем упора к корпусу самого судна. Общий вид валопровода танкера представлен на рис. 1. Работая в условиях действия постоянных переменных нагрузок, сам валопровод следует рассматривать как сложную динамическую систему судовой ЭУ.

Валы расположены по одной оси и опираются на подшипники скольжения и качения. Подшипники скольже-

ния расположены в дейдвудной трубе 7 (см. рис. 1) корпуса судна и называются дейдвудными 3. Втулки, вкладыши или планки для дейдвудных подшипников изготавливаются как из металлических (баббит), так и из неметаллических антифрикционных материалов (капролон, резина, бакаут и т.д.). На дейдвудные подшипники опирается гребной вал 8. На конце гребного вала расположен гребной винт 2 с обтекателем 1. Дейдвудный подшипник, который расположен ближе к гребному винту, называется кормовым.

Действие внешних нагрузок (постоянных и переменных), консольное расположение гребного винта, его вес и вес самого гребного вала усложняют условия эксплуатации дейдвудных подшипников (особенно кормового) и приводит к износу самого дейдвудного подшипника [2–4]. Повышенный износ приводит к выходу из рабочего состояния валопровода и, как отмечается в работах [2, 3], к образованию резонансного состояния при изгибных и крутильных колебаниях. Именно увеличение зазора между гребным валом и дейдвудным подшипником при износе Δ приводит к уменьшению собственной частоты при колебаниях. А это свидетельствует о понижении жесткости всей динамической системы судового валопровода в целом [5–8].

В качестве оценки влияния износа Δ на рабочее состояние валопровода и самих дейдвудных подшипников рассмотрим расчетную схему гребной части валопровода в виде балки, которая опирается на одну упругую опору и нагружена распределенной нагрузкой q, моделирующей вес гребного вала. На одном конце балки имеется защемленная опора, на другом — сосредоточенная нагрузка F, которая в свою очередь моде-

О ВЛИЯНИИ ИЗНОСА КОРМОВОГО ДЕЙДВУДНОГО ПОДШИПНИКА СУДОВОГО ВАЛОПРОВОДА НА ЕГО РАБОЧЕЕ СОСТОЯНИЕ

А.А. Халявкин, канд. техн. наук, доцент,

Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ»,

В.А. Гордон, ∂ -р техн. наук, проф.,

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,

Д.О. Шацков, канд. физ.-мат. наук, доцент,

Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева,

А.В. Ивановская, канд. техн. наук, доцент, Керченский ГМТУ, контакт. тел. +7 (917) 084 6082, sopromat112@mail.ru, gordon@ostu.ru, Denislli@mail.ru, invkerh@yandex.ru

лирует вес гребного винта. Изгибная жесткость *EJ* постоянна по всей длине балки. Критерием рабочего состояния будут служить изменения реакций в опорах и значение собственной частоты при изгибных (поперечных) колебаниях.

За начало координат в расчетной схеме примем точку расположения действия сосредоточенной нагрузки.

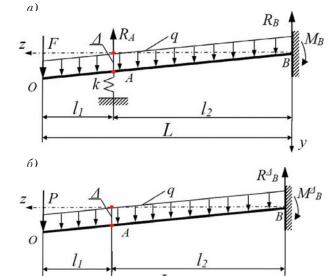


Рис. 2. Расчетная схема гребной части валопровода

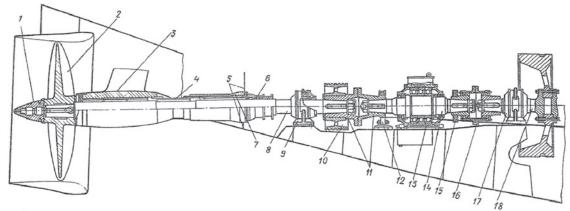


Рис. 1. Общий вид валопровода танкера

1 — обтекатель гребного винта; 2 — гребной винт в насадке; 3 — дейдвудный подшипник; 4 — защитный кожух гребного вала; 5 — водонепроницаемая переборка; 6 — уплотнение дейдвуда; 7 — дейдвудная труба; 8 — гребной вал; 9 — кормовой опорный роликовый подшипник; 10 — шкив привода валогенератора; 11 —коническая муфта; 12 — ленточный тормоз; 13 — шариковый упорный подшипник; 14 — упорный вал; 15 — шкив привода реле частоты вращения ДАУ; 16 — зубчатая компенсирующая муфта; 17 — опорный шариковый подшипник; 18 — проставочный вал и маховик двигателя

Как видно из рис. 2, а, общий прогиб балки в упругой опоре будет зависеть от величины износа Δ и осадки самой опоры δ.

Для определения статического прогиба балки в точке действия сосредоточенной нагрузки будем использовать универсальное уравнение изогнутой оси балки, записанное по методу начальных параметров [1]:

$$y_{z} = -y_{0} + \varphi_{0} \cdot z - \frac{1}{EJ} \times$$

$$\times \left[\sum M \frac{(z-a)^{2}}{2!} + \sum F \frac{(z-b)^{3}}{3!} + \sum q \frac{(z-d)^{4}}{4!} \right],$$
(1)

где y_{-} – прогиб произвольного сечения балки; y_{0} , ϕ_{0} – начальные параметры (прогиб и угол поворота сечения в начале координат); EJ – жесткость сечения балки при изгибе; a, b, d– расстояние от начала координат до сечений, где приложены внешние нагрузки; z – координата сечения, прогиб которого определяется.

Для оценки влияния износа на рабочее состояния валопровода в основной расчетной схеме (см. рис. 2, a) рассмотрим расчетную схему без упругой опоры, но с заданным прогибом Δ в точке A (см. рис. 2, 6). В данной расчетной схеме граничные условия будут иметь следующие выражения:

$$\begin{cases} \text{при } z = 0 : V_0 \neq 0; \ \alpha_0 \neq 0; \ M_0 = 0; \ P \neq 0; \\ \text{при } z = L : V_B = 0; \ \alpha_B = 0; \ M_B \neq 0; \ R_A \neq 0; \\ V_A = \Delta. \end{cases} \tag{2}$$

На основании граничных условий и уравнения статического прогиба балки (1) система уравнений расчетной схемы (рис. 2, 6) примет вид

$$\begin{cases} -V_0 + \alpha_0 L - \frac{1}{EJ} \left[\frac{PL^3}{6} + \frac{qL^4}{24} \right] = 0; \\ -\alpha_0 L + \frac{1}{EJ} \left[\frac{PL^2}{2} + \frac{qL^3}{6} \right] = 0; \\ -V_0 + \alpha_0 l_1 - \frac{1}{EJ} \left[\frac{Pl_1^3}{6} + \frac{ql_1^4}{24} \right] = \Delta. \end{cases}$$
(3)

На основании полученной неоднородной системы (3) определяем параметры расчетной схемы, где прогиб балки $V_{\scriptscriptstyle 0}$, угол поворота $\alpha_{\scriptscriptstyle 0}$ и сила P относительно заданного

$$V_{\alpha} = V_{\alpha}^{\Delta} : \alpha_{\alpha} = \alpha_{\alpha}^{\Delta} : P = P^{\Delta}. \tag{4}$$

 $V_0=V_0^{^\Delta};\alpha_0=\alpha_0^{^\Delta};P=P^{^\Delta}. \tag{4}$ Тогда выражение (1) прогиба балки по всей ее длине примет следующий вид:

$$y_{\Delta} = -V_0^{\Delta} + \alpha_0^{\Delta} \cdot z - \frac{1}{EJ} \left[\frac{P^{\Delta}L^3}{6} + \frac{qL^4}{24} \right]$$
 (5)

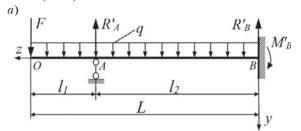
На основании граничных условий (в точке B прогиб $y_{_B} = 0$, угол поворота $\varphi_B = 0$; реакция в опоре $R_A = -cy_A$, $y_A -$ осадка опоры) и метода начальных параметров [2] составляем систе-

$$\begin{cases} -y_{0} + \varphi_{0}L + \frac{1}{EJ} \left[\frac{R_{\lambda\Lambda} (l_{2})^{3}}{6} - \frac{PL^{3}}{6} - \frac{qL^{4}}{24} \right] - y_{\Delta} = 0; \\ -\varphi_{0}L - \frac{1}{EJ} \left[\frac{R_{\lambda}^{\Delta} (l_{2})^{2}}{2} - \frac{PL^{2}}{2} - \frac{qL^{3}}{6} \right] - \alpha_{\Delta} = 0; \\ -y_{0} + \varphi_{0}l_{1} + \frac{1}{EJ} \left[-\frac{Pl_{1}^{3}}{6} - \frac{ql_{1}^{4}}{24} \right] + \frac{R_{A}}{k} + \Delta = 0. \end{cases}$$

$$(6)$$

Далее определяем выражение для параметров расчетной схемы, где прогиб балки y_o , угол поворота ϕ_o и сила R относительно Δ и коэффициент жесткости k упругой опоры, которая характеризует податливость дейдвудного подшипника в расчетной схеме (рис. 2, a).

Для сравнительного анализа влияния износа и упругих свойств (податливости) кормового дейдвудного подшипника на рабочее состояние валопровода рассмотрим расчетную балку на шарнирной опоре (рис. 3, a). Как правило, при шарнирной опоре коэффициент жесткости стремится к бесконечности $(k \rightarrow \infty)$.



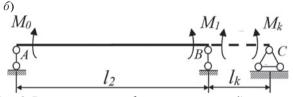


Рис. 3. Расчетная схема балки на шарнирной опоре

Защемленная и шарнирная опоры балки расположены по одной оси. Для статического расчета воспользуемся уравнением трех моментов [5]:

$$\begin{split} M_{n-1}l_n + 2M_n\left(l_n + l_{n+1}\right) + M_{n+1}l_{n+1} &= \\ &= -\frac{6\Omega_n a_n}{l_n} - \frac{6\Omega_{n+1}b_{n+1}}{l_{n+1}}, \end{split} \tag{7}$$

где $\Omega_{_{\mathrm{n}}}$ и $\Omega_{_{n+1}}$ – площади диаграммы изгибающих моментов для пролетов; a_{ν} — горизонтальное расстояние между центром тяжести площади эпюры изгибающего момента пролета l_n и опорой $n-1; b_{n+1}$ – горизонтальное расстояние между центром тяжести площади эпюры изгибающего момента пролета l_{n+1} и опорой n+1.

Эквивалентная система расчетной схемы балки, которая опирается на шарнирную опору и имеет защемленную опору на одном конце, представлена на рис. 3, б.

Момент в опорах в точке A и C

$$M_0 = -\left(Fl_1 + q\frac{l_1^2}{2}\right); \ M_k = 0.$$
 (8)

Так как пролет BC в эквивалентной системе балки является фиктивным (нулевым), $l_{\nu} = 0$, и уравнение трех моментов для исследуемой расчетной схемы примет следующий вид:

$$M_0 l_1 + 2 M_1 (l_1 + l_k) + M_k l_k = -\left[\frac{q l_1^3}{4} + \frac{q l_k^3}{4} \right]. \tag{9}$$

Эпюра изгибающего момента пролета длиной l_2 балки на шарнирных опорах эквивалентной системы от действия распределенной системы q представлена на рис. 4.

Преобразуем уравнение (9):

$$M_0 + M_1 = -\frac{ql_2^2}{4},\tag{10}$$

откуда получаем выражение определения изгибающего момента:

$$M_{1} = \left[-\frac{ql_{2}^{2}}{4} + Fl_{1} + q\frac{l_{1}^{2}}{2} \right]. \tag{11}$$

Выражение определения реакций в опорах примет вид

 $R_{n} = R_{nn} + R_{mn} ,$ (12)

где

$$R_{qn} = \frac{ql_n}{2} + \frac{ql_{n+1}}{2}; \ R_{mn} = \frac{M_{n-1} - M_n}{l_n} + \frac{M_{n+1} - M_n}{l_{n+1}}.$$
 (13)

Отсюда получим выражения для определения каждой реакции опоры расчетной схемы (рис. 3, a):

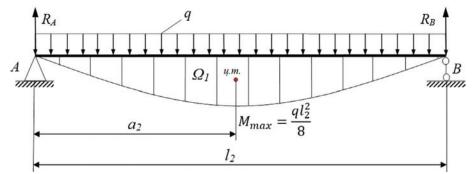


Рис. 4. Общий вид эторы изгибающего момента в пролете длиной l_{ij}

– реакция R₄:

$$R'_{A} = Fl_{0} + ql_{0} + q\frac{l_{1}}{2} + \frac{M_{1} - M_{0}}{l};$$
(14)

- реакция R_n

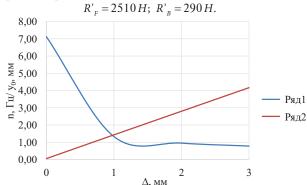
$$R'_{B} = q \frac{l_{1}}{2} + q \frac{l_{k}}{2} + \frac{M_{0} - M_{1}}{l_{1}} + \frac{M_{k} - M_{1}}{l_{k}} = q \frac{l_{1}}{2} + \frac{M_{0} - M_{1}}{l_{1}}.$$
 (15)

В таблице представлены результаты расчета исследуемых параметров балки (рис. 2,a) диаметром d=0,114 мм и общей длиной L=2 м ($l_1=0,4$ м, $l_2=2,6$ м) от изменения величины зазора Δ в диапазоне 0-3 мм с шагом 1 мм. Сосредоточенная нагрузка, моделирующая гребной винт валопровода, принималась равной F=1,2 kH. Коэффициент жесткости материала дейдвудного подшипника на основании работ принимался равным $k=1\cdot10^6\div1\cdot10^9$ H/м.

Таблица Влияние величины зазора и коэффициента жесткости на реакции в опорах

| penniqui e enepuit | | | | | | | |
|--------------------|---------------|-----------|--------------|------------------|---------------|----------------|--------------------------|
| <i>k</i> , Н/м | Δ , MM | $R_{A,}H$ | $R_{B_{i}}H$ | <i>k</i> , Н/м | Δ , MM | $R_{_{A}}$, H | $R_{_{\mathcal{B}}}$, H |
| | 0 | 1085,18 | 1714,98 | | 0 | 2477,56 | 322,6 |
| 1×0 ⁶ | 1 | 517,5 | 2282,66 | 1×0 ⁸ | 1 | 1181,51 | 1618,65 |
| 1×0° | 2 | -50,17 | 2850,33 | | 2 | -114,55 | 2914,71 |
| | 3 | -617,84 | 3418,00 | | 3 | -1410,6 | 4210,76 |
| | 0 | 2218,74 | 581,42 | | 0 | 2509,76 | 290,4 |
| 1×0 ⁷ | 1 | 1058,08 | 1742,08 | 1×09 | 1 | 1196,86 | 1603,3 |
| 1,0 | 2 | -102,58 | 2902,74 | 1×0 | 2 | -116,04 | 2916,2 |
| | 3 | -1263,25 | 4063,41 | | 3 | -1428,94 | 4229,1 |

Значения реакций расчетной схемы (см. рис. 3, a) на шарнирной опоре:



Puc.~5. График зависимости собственной частоты n от износа Δ $Ps\partial~1-n\cdot 10^{-1}$ Γu , $Ps\partial~2-y_o$, мм

Как видно из вышеприведенной таблицы, увеличение износа дейдвудного подшипника приводит к перераспределению нагруженности всех подшипников валопровода и повышению напряженно-деформированного состояния самого валопровода. Увеличивается прогиб по всей его длине.

На рис. 5 представлен график изменения собственной частоты от величины износа при коэффициенте жесткости $k = 1 \cdot 10^9 \, \mathrm{H/m} \, [7-9]$.

Как видно из полученного графика, износ подшипников приводит к уменьшению собственной частоты валопровода при поперечных колебаниях и к возникновению его резонансного состояния.

выводы

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что на рабочее состояние валопровода влияют не только упругие свойства дейдвудного подшипника, особенного кормового, но и износ самого дейдвудным подшипником. Вышеуказанные параметры влияют на нагруженность подшипников и на возникновения резонансного состояние, так как их изменения относительно заданных при проектировании приводят к уменьшению собственной частоты.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 1995. 560 с.
- 2. Виноградов С.С., Гавриш П.И. Износ и надёжность винто-рулевого комплекса судов. М.: Транспорт, 1970. 232 с.
- Комаров В.В. Состояние укладки гребных валов на дейдвудных опорах // Вестник АГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2006. – №2 (31). – С. 259–267.
- 4. *Рубин М.Б. Бахарева В.Е.* Подшипники в судовой технике: Справ. Л.: Судостроение, 1987. –344 с.
- Румб В. К. Основы проектирования и расчета судового валопровода: учеб.пособие. СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 1996. 106 с.
- Халявкин А.А., Мамонтов В.А., Комаров М.П. Влияние коэффициента жесткости капролона на частоту собственных колебаний валопроводов судов // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. 2012. №2. С. 45–50.
- Оценка влияния упругих свойств подшипников скольжения дейдвудного устройства судна на значение коэффициента жесткости / Халявкин А.А., Макеев С.А., Лошадкин Д.В., Мамонтов В.А., Саламех Али, Шацков Д.О., Ауслендер А.Я. // Вестник Астраханского ГТУ. Сер.: Морская техника и технология. 2020. № 1. С. 83–93. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-83-93.
- Шиманский Ю.А. Динамический расчет судовых конструкций. -Л.: Судпромгиз, 1963. – 295 с.

абота воздухонезависимой энергетической установки с электрохимическим генератором (ВНЭУ с ЭХГ) во многом определяется параметрами топливных элементов (ТЭ). Общим достоинством ЭХГ на ТЭ является высокий КПД. Для морских подводных объектов (МПО) существенное значение имеет бесшумность работы энергетической установки. Кроме того, при использовании в качестве реагентов водорода и кислорода на выходе получается продукт -

дистиллированная вода, которая может быть использована на нужды МПО.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ **ЯЧЕЙКИ**

Поскольку в распоряжении авторов для исследования был электролизер, исследования проводились на нем, хотя этот агрегат является обратимым устройством с батареей ТЭ. Известно, что в соответствии с конструктивным исполнением электролизер включает в себя большое количество электрически последовательно соединенных электролизных ячеек, имеющих общие коллекторы подвода воды, отвода кислорода и водорода и образующих таким образом электролизную батарею. При этом масса электролизной батареи пропорциональна рабочей поверхности электролизных ячеек, т.е. $M_{a} \cong k_{m} f_{a}$, а рабочая поверхность электролизной ячейки f_{a} определяется величиной силы тока I_0 и величиной плотности тока i A/cм 2 :

$$M_{_{9}}^{^{0}} = k_{_{m}} f_{_{9}} = k_{_{m}} I_{_{0}} / i, \tag{1}$$

где k_m – относительная масса на единицу поверхности, кг/см².

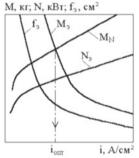


Рис. 1. Выбор оптимальной плотности тока электролизёпа

Таким образом, в процессе проектирования электролизных батарей параметром, требующим оптимального выбора, является плотность тока i, A/cm^2 . По мере увеличения плотности тока i растет напряжение электролиза E(i) и возрастают затраты энергии на разложение воды $N_0 = E(i)I_0$, что приводит к увеличению эквивалентной массы энергозатрат:

$$M_N = m_N E(i) I_0. (1)$$

Здесь $m_{_{\rm N}}$ – удельная масса электролизера, кг/кВт.

При этом условии гиперболически снижаются величина рабочей поверхности и масса самой электролизной батареи, как это следует из формулы (1). В этом случае оптимальная плотность тока будет соответствовать минимуму общих затрат массы $M_{\rm o} + M_{\rm h}$ (рис. 1). Кроме того, величина оптимальной плотности тока будет зависеть от удельной массы электролизера m_N и эффективности его конструкции $k_{...}$.

Таким образом, оптимальную плотность тока $i_{\text{опт}}$ получаем из условия $M_{3} = M_{N}$ или

 $\frac{k_m I_0}{i} = \frac{m_N E(i) I_0}{10^3}$

откуда

$$iE(i) = \frac{10^3 k_m}{m_N}. (2)$$

Значения напряжения на электролизной ячейке E(i)в выражении (2) будем определять, исходя из характера

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВНОЙ ЯЧЕЙКИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО *TEHEPATOPA*

А.Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,

А.В. Юшков, аспирант, СПбГМТУ,

контакт. тел. +7 (911) 299 9736, +7 (950) 000 0300

вольт-амперной характеристики электролизера без учета влияния температуры процесса разложения воды:

$$E(i) = E_0 + i \operatorname{tg}\alpha, \tag{3}$$

где tgα – тангенс угла наклона вольт-амперной характеристики электролизера.

Подставляя уравнение (3) в зависимость (2), получаем

$$i^2 \operatorname{tg} \alpha + E_0 i - \frac{10^3 k_m}{m_N} = 0.$$

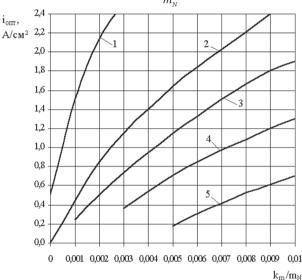


Рис 2. Зависимость оптимальной плотности тока в функции $k_{_{
m N}}/m_{_{
m N}}$ при различных углах наклона вольт-амперной характеристики

$$1 - \alpha = 60^{\circ}$$
; $2 - \alpha = 45^{\circ}$; $3 - \alpha = 40^{\circ}$; $4 - \alpha = 35^{\circ}$; $5 - \alpha = 30^{\circ}$

Окончательно зависимость для оптимальной плотности тока электролизера примет вид

$$i_{\text{ont}} = \frac{\text{tg}\alpha}{2} \sqrt{\left(\frac{E_0^2}{\text{tg}\alpha} + \frac{4 \times 10^3 k_m}{m_N}\right) - \frac{E_0}{2\text{tg}\alpha}}.$$
 (4)

Полученные с использованием формулы (4) результаты при E_0 = 1,4 В представлены графически на рис. 2. Анализ этих графиков дает основание утверждать, что с уменьшением угла наклона вольт-амперной характеристики электролизера улучшаются его габаритные показатели, поскольку оптимальные величины плотностей тока смещаются в область больших значений отношения $k_{...}/m_{N}$

Определяющим критерием при использовании электролизера в составе, например, берегового заправочного комплекса является экономическая целесообразность. С целью определения технико-экономических показателей электролизера был создан соответствующий алгоритм расчета, реализованный на ПК.

В алгоритме расчета удельный расход электроэнергии на получение 1 нм³ водорода рассчитывался по формуле (4), а напряжение на электролизной ячейке – по видоизмененной зависимости (3) с учетом температуры процесса электролиза:

$$E(i) = 1,48 + i \operatorname{tg} \alpha - 8,5 \times 10^{-4} T.$$
 (5)

Сила тока на электролизной ячейке рассчитывается по формуле

 $I = \frac{Q_{H_2}/2}{0,000419n_{_{\rm s}}\beta\mu},$

где $Q_{\rm H2}$ – производительность электролизной установки по водороду, нм^3 /ч; $n_{_{\rm q}}$ – число электролизных ячеек в электролизере; $\beta = 0.95 \pm 0.98$ – выход по току; $\mu \approx 0.98$ – коэффициент, учитывающий колебания нагрузки и использование рабочего времени [1].

В расчетах принимается, что в составе электролизной установки работают два электролизера. Зная производительность электролизера и удельный расход электроэнергии на получение 1 нм³ водорода, можно определить электрическую мощность электролизера

$$N_{\rm DJ} = \frac{N_{H_2} Q_{H_2}}{2} \tag{7}$$

КПД электролизера рассчитывался по формуле

$$\eta_{\rm g,I} = \frac{Q}{3600N_{\rm H}},\tag{8}$$

 $\eta_{_{\rm эл}}=\frac{\sim}{3600N_{_{H_2}}},$ (8) Масса электролизера определялась произведением его относительной массы $m_{_{\rm N}}$, кг/кВт, на величину электрической мощности $N_{_{\mathfrak{I}\!\mathfrak{I}}}$ т.е.

$$M_{\rm BH} = m_N N_{\rm BH}. \tag{9}$$

В качестве критерия оптимальности конструкции электролизера принимались ежегодные приведенные затраты 3_{an} долл./год, которые включают капитальные затраты хК и эксплуатационные затраты или издержки производства:

$$3_{AB} = \chi K + M, \tag{10}$$

где х – годовой нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, принимаемый в расчетах равным 0,12 [2].

Капитальные затраты на электролизер принимались в соответствии с рекомендациями [3] как удвоенная стоимость электролизера, т.е. K = $2\coprod_{\mathfrak{I}_{\mathfrak{I}_{\mathfrak{I}}}}$ В свою очередь, стоимость изготовления электролизера оценивается через относительную цену единицы поверхности электролизных ячеек, а именно:

$$\coprod_{\mathfrak{D}^{\Pi}} = c_{\mathfrak{M}} f_{\mathfrak{R}} n_{\mathfrak{R}}, \tag{11}$$

где $c_{_{\mathrm{M}}}$ – цена единицы поверхности электролизных ячеек, принимаемая в расчетах равной 1000 долл./м².

Эксплуатационные затраты пропорциональны количеству электроэнергии, потребляемой электролизером в течение года с учетом его КПД, т. е.

$$M = \frac{c_{_3}N_{_{3\pi}}\tau_{_p}}{\eta_{_{3\pi}}}, \tag{12}$$
 где $c_{_3}$ — стоимость единицы количества электричества, прини-

маемая в расчетах 0.02 долл./(кВт.ч); $\tau_{\rm p}$ – время работы электролизера за год, принимаемое равным 8333 часам.

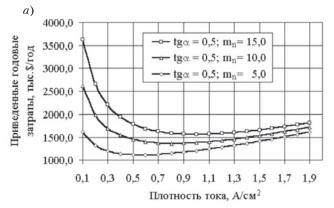
В результате суммирования капитальных и эксплуатационных затрат получаем выражение для целевой функции в виде

$$3_{_{\mathfrak{I}\mathfrak{I}}}=\frac{c_{_{\mathfrak{I}}}N_{_{\mathfrak{I}\mathfrak{I}}}\tau_{_{\mathfrak{p}}}}{\eta_{_{\mathfrak{I}\mathfrak{I}}}}+2\chi c_{_{\mathsf{M}}}f_{_{\mathfrak{I}}}n_{_{\mathfrak{I}}}.\tag{13}$$
 Задача оптимизации характеристик электролизера ре-

шалась методами линейного программирования при ограничениях на величину переменной (плотности тока) $0.05 \text{ A/cm}^2 \le i \le 2 \text{ A/cm}^2$.

Результаты расчетов по разработанному алгоритму представлены в графическом виде на рис. 3-6. На рис. 3, a и 6представлены зависимости приведенных годовых затрат в функции плотности тока на ячейке электролизера при различных углах наклона вольт-амперной характеристики: $\alpha_1 = 26.5^{\circ}$ и $\alpha_2 = 45^{\circ}$. Расчеты выполнялись для трех значений относительных масс электролизера $m_N = 5$; 10; 15 кг/кВт.

Как следует из рассмотрения графиков, с ростом m_N приведенные годовые затраты увеличиваются, что объясняется возрастанием капитальных затрат на изготовление электролизера. В зависимости от величины плотности тока на электролизной ячейке все три графические зависимости имеют минимум. Чем хуже конструктивно выполнен электролизер (больше величина $m_{\rm N}$), тем минимум выражен более отчетливо.



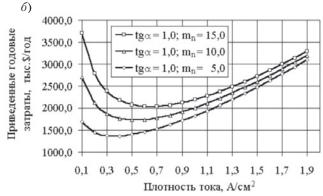


Рис. 2. Зависимость приведенных годовых затрат в функции плотности тока: а – при угле наклона ВАХ $\alpha_{_{1}}$ = 26,5°, б-при угле наклона ВАХ $\alpha_{_{2}}$ = 45°

При угле наклона вольт-амперной характеристики в 45° соответствующие величины приведенных годовых затрат на электролизер становятся больше, чем при угле наклона ВАХ в 26,5°. Кроме того, минимум приведенных годовых затрат становится более ярко выраженным. При угле наклона ВАХ в 45° минимум приведенных годовых затрат смещается в область меньших плотностей тока. Это подтверждает известное положение о необходимости создания электролизеров по возможности с более пологой ВАХ. В качестве примера на рис. 4 приведены ВАХ электролизеров, разработанных компанией «Дженерал электрик» в течение 1967–1985 гг.

Необходимо отметить, что зависимости приведенных годовых затрат в функции величины плотности тока на электролизной ячейке имеют довольно пологую форму в окрестности экстремальной точки. Это дает основание утверждать, что допустимы отклонения некоторых параметров от их оптимальных значений без существенного влияния на целевую функцию.

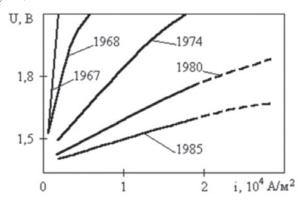
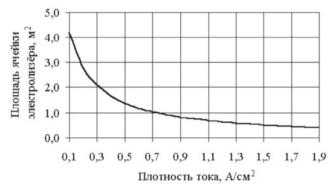


Рис. 4. Хронология развития электролизной ячейки фирмы «Дженерал электрик»



Puc. 5. Зависимость площади электролизной ячейки в функции плотности тока

На рис. 5 представлена зависимость изменения площади электролизной ячейки от величины плотности тока. При постоянной силе тока на электролизной ячейке с ростом плотности тока ее площадь плавно убывает. По мере уменьшения площади электролизной ячейки снижается и масса электролизера, как это следует из рассмотрения рис. 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученная в результате теоретического анализа зависимость для расчета оптимальной плотности тока позволила наметить пути улучшения массогабаритных и токовых характеристик электролизеров с твердополимерным электролитом (ТПЭ). С ростом плотности тока площадь электролизной ячейки плавно убывает при постоянной силе тока на ней. Соответственно уменьшение площади электролизной

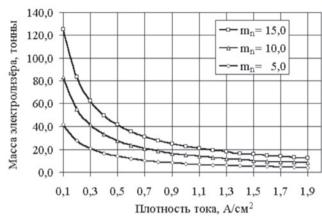


Рис. 6. Зависимость массы электролизера в функции плотности тока

ячейки ведет к снижению массы электролизера. Разработанный алгоритм расчета оптимальной плотности тока на электролизной ячейке может использоваться для подобных расчетов ЭХГ с ТПЭ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Введение в водородную энергетику / Шпильрайн Э.Э., Малышенко С.П., Кулешов Г.Г. Под ред. В.А. Легасова. М.: Энергоатомиздат, 1984. 264 с.
- 2. *Качан А.Д., Яковлев Б.В.* Справочное пособие по технико-экономическим основам ТЭС. Минск: Высшая школа, 1982. 318 с.
- 3. Теплоэнергетика электрических станций: Справ. пособие. Минск: Изд-во «Беларусь», 1974. 368 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

ынешние силовые установки, в которых в качестве главных двигателей используются высокооборотные дизели, а в качестве движителей – гребные винты, не позволяют отечественным судам на подводных крыльях типа «Метеор» развивать скорость хода до 65 км/ч. Как следует из работы [1], для более высокой скорости следует устанавливать водометные движители, т. е. вместо гребных винтов использовать реактивную струю. При этом насосную часть водометного движителя приводит в действие газовая турбина.

Реактивную струю можно создать, например, в парогазоводяном струйном аппарате (ПГВСА), в который вместо пара поступает парогазовая смесь, образующаяся при сжигании аммиака или метана.

В традиционном ПГВСА со сверхзвуковым паровым соплом пар конденсируется в цилиндрическом участке камеры смешения, и в диффузор поступает однофазная вода с низкой скоростью [2]. В диффузор созданного для первого контура ПВСА с дозвуковым паровым соплом [3–4, 9–11] поступает движущийся с критической скоростью двухфазный поток, и в диффузоре происходит дальнейший разгон двухфазного потока. А в диффузоре ПГВСА также

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЬНО-ДВИЖИТЕЛЬНОГО ИНЖЕКТОРА

В.В. Кожемякин, д-р техн. наук, доцент, зав кафедрой,

Ю.И. Раевская, студент,

Д.П. Левша, студент,

Н.А. Морозов, ассистент кафедры, СПбГМТУ,

контакт. тел. (812) 494 0953

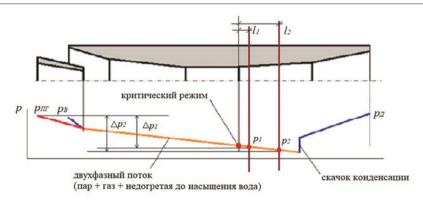


Рис. 1. Изменение давления вдоль проточной части ПГВСА

осуществляется сверхкритический разгон парогазоводяной смеси. Если диффузор короткий и в нем скачка конденсации не происходит, то на выходе из него будет двигаться со сверхкритической скоростью парогазоводяная смесь. Использование такого ПГВСА в качестве гидрореактивного движителя описано в патенте [10]. Достоинством такого гидрореактивного движителя является то, что он обеспечивает более высокую удельную тягу (отношение тяги к

массе движительной установки). Однако встает вопрос о выборе длины диффузора и его связи с режимными параметрами.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изменение давления вдоль проточной части ПГВСА представлено на рис. 1.

Следует подчеркнуть, что если в диффузоре не будет скачка конденсации, то ПГВСА будет создавать не напор, а гидравлическое сопротивление.

При длине диффузора l_1 давление за диффузором — p_1 , гидравлическое сопротивление — Δp_1 ; при длине диффузора l_2 —давление за диффузором — p_2 , гидравлическое сопротивление — Δp_2 . Однако давление за диффузором (p_1 или p_2) должно равняться давлению окружающей среды. Следовательно, пар и вода, поступающие в парогазоводяной струйный аппарат, должны иметь давления значительно выше. Причем чем длиннее диффузор, тем больше скорость на выходе из диффузора и гидравлическое сопротивление ПГВСА.

Поэтому движительная установка должна содержать компрессоры, подающие горючее и окислитель, насос для подачи воды, а также турбину, приводящую их.

Таким образом, установка с инжекторным движителем должна иметь схему, представленную на рис. 2.

На самом деле при использовании такой установки на судах, развивающих скорость около 100 км/ч, создается динамический напор набегающего потока, достаточный для того, чтоб подавать воду в водяное сопло ПГВСА, и наличие насоса становится не нужным.

Компрессоры для горючего также можно исключить из схемы, поскольку метан или аммиак целесообразно хранить на судне в жидком виде, и для подачи в камеру сгорания будет требоваться его подогрев. Схема установки с учетом таких условий представлена на рис. 3.

Конструктивно эта схема гидрореактивного движителя может быть реализована, как представлено на рис. 4.

Для обоснованного выбора параметров при проектировании установки необходимо знать влияние этих параметров на характеристики такой установки. Предыдущие исследования ПВСА показали, что наиболее существенное влияние на характеристики оказывают недогрев смеси на выходе из диффузора после конденсации пара и паросодержание на входе в паровое сопло инжектора. Поэтому в данной работе исследовано влияние на статические характеристики установки именно этих параметров.

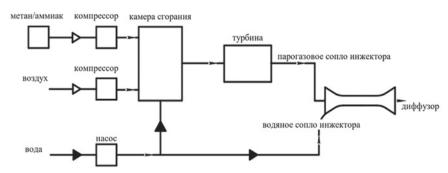


Рис. 2. Схема установки с инжекторным движителем

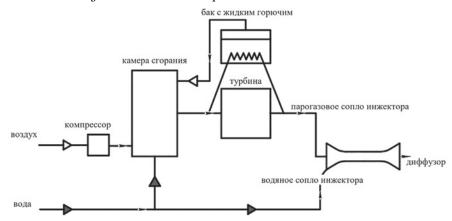


Рис. 3. Схема установки с инжекторным движителем для судов, развивающих скорость около 100 км/ч

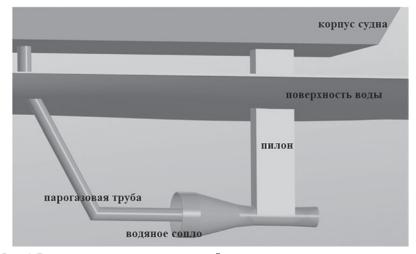


Рис. 4. Расположение инжектора на судне

ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет был проведен для судна со скоростью 80 км/ч. При исследовании в расчете не учитывались турбина, насос и компрессоры. В качестве горючего рассмотрено использование метана или аммиака. В качестве исходных данных были приняты следующие параметры:

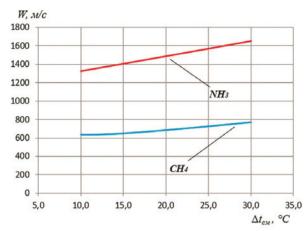
для метана:

для аммиака:

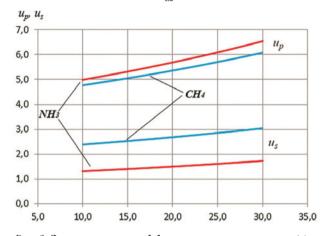
Давление на выходе из диффузора в обоих случаях $-0.1200~\mathrm{M}$ Па.

При изменении данных параметров диаметры цилиндрического участка проточной части и выходного сечения диффузора оставались неизменными.

Двигательно-движительная установка рассчитывалась так, чтоб создать тягу на принятом режиме, которая обеспечи-



Puc. 5. Зависимость скорости парогазоводяной смеси на выходе из диффузора от $\Delta t_{\rm cw}$



Puc.~6. ${\it 3a}$ висимость коэффициентов инжекции от $\Delta t_{_{\rm CM}}$

ла бы скорость движения судна, равную

ется недогрев газоводяной смеси после

конденсации пара на выходе из диф-

фузора. Однако следует подчеркнуть

из диффузора выходит сверхкрити-

ческий поток парогазоводяной смеси, а

конденсация пара происходит за диф-

фузором. Паросодержание на входе

в паровое сопло инжектора принято

истечения парогазоводяной смеси из

диффузора (рис. 5), причем скорость

При увеличении $\Delta t_{_{\scriptscriptstyle{\mathrm{CM}}}}$ растет скорость

Под $\Delta t_{\rm cm}$ на графиках подразумева-

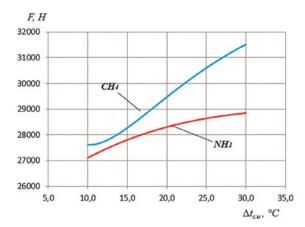
80 км/ч.

равным 1.

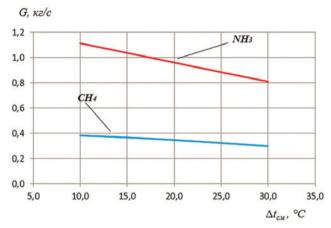
парогазоводяной смеси для аммиака выше, чем для метана.

Для ПГВСА можно рассматривать два коэффициента инжекции: паровой коэффициент инжекции u_p (отношение массового расхода воды к массовому расходу пара) и общий коэффициент инжекции u_s (отношение массового расхода воды к массовому расходу парогазовой смеси).

При увеличении $\Delta t_{\rm cm}$ увеличиваются коэффициенты инжекции (рис. 6). Причем u_p выше для аммиака, а u_s выше для метана. Это связано с тем, что доля водяного пара в продуктах сгорания аммиака больше, чем метана.



Puc. 7. Зависимость тяги установки от Δt_{cu}



Puc. 8. Зависимость массового расхода горючего от Δt_{cm}

Увеличение скорости и общего коэффициента инжекции приводит к повышению тяги (рис. 7).

Массовый расход горючего при увеличении $\Delta t_{_{\rm CM}}$ снижается (рис. 8). Причем массовый расход аммиака выше, чем метана.

В конфузоре ПВСА движется смесь пара и недогретой до насыщения воды. Конденсации пара в конфузоре не происходит, но только при небольшом недогреве. При увеличении $\Delta t_{\rm cm}$ снижается температура воды в конфузоре, и может произойти полная конденсация пара в конфузоре.

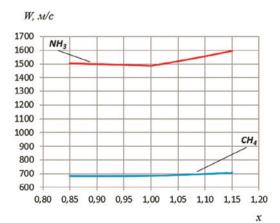


Рис. 9. Зависимость скорости парогазоводяной смеси на выходе из диффузора от паросодержания

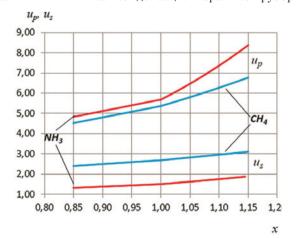


Рис. 10. Зависимость коэффициентов инжекции от паросодержания

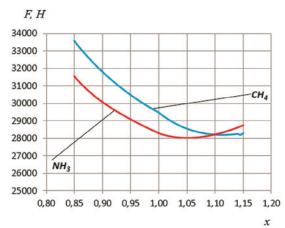


Рис. 11. Зависимость тяги от паросодержания

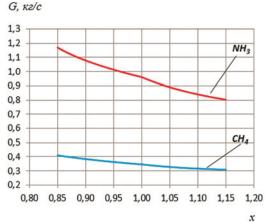


Рис. 12. Зависимость массового расхода горючего от паросодержания

Это так называемый срыв по холодной воде – ПВСА перестает работать как насос. Срыв ПВСА по холодной воде хорошо изучен, в том числе экспериментально. Однако для ПГВСА таких данных нет, и давать на основании рис. 5-8 рекомендации по выбору значения $\Delta t_{\rm cy}$ преждевременно.

Влияние паросодержания *х* при парциальном давлении пара в парогазовой смеси представлено на рис. 9–12. Наличие излома на графиках при паросодержании, равном единице, связано с тем, что параметры влажного и перегретого пара существенно различаются. Недогрев смеси на выходе из диффузора после конденсации пара принят равным 20 °C.

Скорость истечения парогазоводяной смеси из диффузора увеличивается при увеличении перегрева пара и практически не меняется в области влажного пара (рис. 9).

При увеличении паросодержания оба коэффициента инжекции увеличиваются (рис. 10).

Хотя с увеличением паросодержания коэффициенты инжекции увеличиваются, расход забортной воды снижается, поэтому снижается и тяга (рис. 11).

Массовый расход горючего при увеличении паросодержания также снижается (рис. 12).

Следует отметить, что такая установка имеет низкий КПД — около 5%. Поэтому использовать инжектор в качестве движителя следует в тех случая, когда нужна высокая скорость, а

экономичность не является определяющей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено расчетно-теоретическое исследование энергетической установки с инжекторным движителем. Предложены схемы установки.

Установлено, что при увеличение недогрева газоводяной смеси после конденсации пара увеличиваются скорость истечения парогазоводяной смеси на выходе из диффузора и тяга инжектора, а массовый расход горючего уменьшается.

При увеличении паросодержания на входе в парогазовое сопло инжектора уменьшаются тяга и массовый расход горючего.

ЛИТЕРАТУРА

- Зайцев Н.А., Маскалик А.И. Отечественные суда на подводных крыльях. Л.: Судостроение. 1967.
- 2. *Соколов Е.Я.*, *Зингер Н.М.* Струйные аппараты. М.: Энергоатомиздат, 1989.
- Аполлова А.В., Кожемякин В.В., Шаманов Д.Н., Шаманов Н.П. Экспериментальные исследования системы пассивного отвода тепла на Приморской учебно-научной базе СПбГМТУ // Морские интеллектуальные технологии. 2018. Т. 1. № 4 (42). С. 115 123.
- Аполлова А.В., Кожемякин В.В., Шаманов Д.Н., Тихомиров Б.А., Русаков Е.С. Экспериментальное исследование систем пассивного отвода тепла с ПВСА для реакторных установок // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – Т. 1. –

- № 4 (46). C. 123 129.
- Игнатьева Е.С., Кожемякин В.В. Расчетно-теоретическое исследование работы пароводяного струйного аппарата при дополнительном подводе воды в камеру смешения // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. Т. 1. – № 4 (46). – С. 148 – 152.
- 6. Аполлова А.В., Кожемякин В.В., Кожемякин В.О., Тихомиров Б.А. Безбойлерная система теплоснабжения с пароводяными струйными средствами циркуляции // Морские интеллектуальные технологии. 2019. Т. 3. № 1 (43). С. 103 108.
- 7. Аполлова А.В., Гайсина А.О., Кожемякин В.В. Квазистатические характеристики системы пассивного отвода тепла // Морские интеллектуальные технологии. — 2019. — Т. 3. — № 1 (43). — С. 115 — 121
- Гайсина А.О., Кожемякин В.В., Кожемякин В.О. Расчетно-теоретическое исследование зависимости давления от нагрузки при работе пароводяного струйного аппарата на статических характеристиках // Морские интеллектуальные технологии. 2019. Т. 1. № 4 (46). С. 136 141
- 9. Гоняева С.С., Калмыков А.Н., Кожемякин В.В., Кошкин Н.Д., Маловик Д.С., Морозов Н.А. Использование пароводяного струйного аппарата в качестве движителя на скоростных судах // Морские интеллектуальные технологии. 2022. – №2. – Ч. 2. С. 106 – 110.
- Кожемякин В.В., Морозов Н.А., Гоняева С.С., Шаманов Д.Н., Раевская Ю.И. Гидрореактивный движитель. Полезная модель. Заявка РФ № 2023100471 от 10.01.2023. Положительное решение о выдаче патента на полезную модель от 15.02.2023.

ФАКУЛЬТЕТ МОРСКОГО ОРУЖИЯ (ФМО) ВОЕННО-МЕХАНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА, 1933–1945 ГГ.

1922 г. в Петроградской Военноморской академии РККФ был открыт специальный факультет военноморского оружия, на котором была организована кафедра минно-торпедного оружия. Начальником кафедры стал А.В. Трофимов, впоследствии контрадмирал. Позже были созданы самостоятельные кафедры торпедного и минного оружия.

В июле 1933 г. принято решение об открытии в ЛВМИ (Военмех) нового факультета по подготовке гражданских инженеров по минно-торпедному оружию. Военмех стал первым гражданским высшим учебным заведением, где начали готовить гражданских специалистов по морскому подводному оружию.

В СССР началось строительство нового современного военно-морского флота и требовались специалисты по минно-торпедному оружию. Инициаторами организации факультета были нарком тяжелой промышленности Г.К. Орджоникидзе и первый секретарь ОК ВКП(б) С.М. Киров. Прием на первый курс проведен в обычном порядке, на второй и третий курсы - путем перевода 50 студентов из Машиностроительного института (ныне - СПбГТУ-Политех) и 50 студентов Электротехнического института (ныне - СПбГЭТУ – ЛЭТИ). Приказом ГУУЗ НКТП от 21.07.1933 г. факультету присвоено название «Факультет морского оружия».

Первым его деканом был в 1933-1935 гг. капитан 1 ранга И.Н. Гладковский. Для преподавания были приглашены опытные специалисты из промышленности и флота. Первым заведующим кафедрой Проектирование торпедного оружия (кафедра 30) был главный конструктор первой советской торпеды «53-27» профессор Р.Н. Корвин-Коссаковский (1933-1937), а кафедрой Проектирование минно-трального оружия (кафедра 40) - главный конструктор первой советской морской мины «М-26» профессор А.А. Пятницкий (1933-1938). Так Военно-механический институт стал колыбелью факультета морского оружия (ФМО) первой и крупнейшей отечественной школы гражданских инженеров морского подводного оружия.

В первые же дни войны многие студенты ушли добровольцами на фронт, преподаватели, аспиранты и студенты старших курсов перешли на оборонные предприятия. Оставшаяся часть факультета в 1942 г. была эвакуирована сначала в Пятигорск, а затем в Пермь. Деканом ФМО в те годы был доцент Н.Д. Серги-

90-ЛЕТНЯЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФАКУЛЬТЕТА МОРСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ СПБГМТУ основные этапы

А.Г. Боярский, канд. техн. наук,

 $\overline{\mathbf{\mathcal{I}}.\mathbf{\mathcal{U}}.\mathbf{\mathcal{K}}\mathbf{\mathcal{Y}}\mathbf{\mathcal{S}}\mathbf{\mathcal{H}}\mathbf{\mathcal{C}}\mathbf{\mathcal{G}}}$, ∂ -р техн. наук, проректор по науч. работе,

А.О. Мадатян, ассистент, СПбГМТУ,

контакт. тел. + 7 (952) 099 6815



Кабинет торпедного оружия

ФМО – СПЕЦИАЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ – КОНСТРУКТОРСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ ЛКИ, 1945 1963 ГГ.

В марте 1945 г. факультет вернулся в Ленинград с Механическим институтом, а в сентябре постановлением правительства был переведен в ЛКИ. В составе факультета было в то время 116 студентов и пять штатных преподавателей. Занятия на факультете в стенах ЛКИ начались 15 октября 1945 г. Второй, третий и часть четвертого курсов составляли студенты, начавшие обучение в Перми, а часть четвертого и пятый курс — студенты довоенного приема, вернувшиеся с оборонных предприятий и из действующей армии.

В послевоенные годы техника морского приборостроения получила интенсивное развитие. Разрабатывались и внедрялись в производство новые образцы изделий, вобравшие в себя последние достижения науки и техники. Росла потребность промышленности в высококвалифицированных инженерных кадрах, увеличивался и контингент студентов факультета.

В 1948 г. для подготовки инженеровэлектромехаников (впервые в ЛКИ) была сформирована третья выпускающая кафедра факультета — неконтактной техники морского оружия (кафедра 50), которую возглавил В.М. Шахнович.

В 1948–1949 гг. было изменено название факультета. Недолго он называл-

ся Специальным, но в 1949 г. получил название Конструкторского, которое носил полтора десятка лет.

В 1949 г. на конструкторском факультете ЛКИ были организованы четвертая и пятая выпускающие кафедры: систем автоматического управления (кафедра 35) под руководством профессора Г.В. Цывкина и кафедра специальной технологии (кафедра 60), заведующим которой был назначен доцент Б.И. Штафинский.

В 1945-1952 гг. факультет работал в здании ЛКИ на Лоцманской улице. В 1952/53 учебном году факультет переехал в отдельное здание на проспекте им. М. Горького (ныне – Кронверкский пр.), переоборудованное из студенческого обшежития института в учебный корпус с аудиториями, кабинетами, лабораториями, столовой, читальным и дипломными залами. В этом здании в 1930-1931 гг. размещался учебный корпус ЛКИ после перевода его из Политехнического института, в 1945–1947 гг. - студенческое общежитие и квартиры преподавателей ЛКИ. До ЛКИ здание занимал областной институт социального обеспечения, а первоначально это был жилой дом Второго каменноостровского товарищества. Здание построено в 1913-1914 гг. по проекту архитектора А.И. Клейна (1879-1961) как «стена», отделяющая особняк М.Ф. Кшесинской

от мечети. В здании размещались богатые квартиры, общая площадь которых составляла почти 3000 кв. м.

С 1957 г. в небольшом конструкторском бюро при кафедре 30 профессора А.И. Шевело началась разработка самоходных необитаемых подводных аппаратов. В краткие сроки были созданы и успешно прошли испытания первые опытные образцы, получены авторские свидетельства на изобретения.

В 1963 г. на факультете была сформирована шестая кафедра — морской электроники (кафедра 70), заведующим которой стал доцент Н.Н. Горохов.

ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ ЛКИ, 1963–1992 ГГ.

В 1963 г. факультет получил новое название – Приборостроительный (ПФ ЛКИ), под которым существовал три десятка лет. В 1966 г. на факультете были организованы еще две – седьмая и восьмая кафедры: корабельных автоматических комплексов (кафедра 10, заведующий профессор Е.Н. Розенвассер) и судовых механических устройств (кафедра 20, заведующий профессор В.И. Егоров, а с 1972 г. – профессор И.Б. Иконников).

Организационная, общественная, учебная и научно-исследовательская работа коллектива факультета неоднократно отмечалась правительственными наградами. В 1970 г. юбилейную медаль «За доблестный труд» в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина получили 15 сотрудников факультета. В 1982 г. инженеры кафедры систем автоматического управления Ю.Л. Сиек и

Н.П. Мамонин получили Премии имени Ленинского комсомола.

В 1992 г. Ленинградский кораблестроительный институт стал Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом, а бывший приборостроительный факультет переименован в факультет морского приборостроения (ФМП СПбГМТУ).

РАЗВИТИЕ КАФЕДР НА ФАКУЛЬТЕТЕ МОРСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ С 1992 Г. ПО НАШЕ ВРЕМЯ

Кафедра проектирования и технологии производства морских подводных аппаратов и роботов. С 2015 учебного года кафедра 2360 вместе с кафедрами 2330 и 2340 факультета стала объединенной кафедрой проектирования и технологии производства морских подводных аппаратов и роботов. На этой кафедре активно развиваются следующие специализированные научные направления: САПР подводной робототехники; методология обоснования требований к характеристикам перспективных подводных аппаратов; проектирование, технология производства и эксплуатация морского подводного оружия; проектирование самоходных подводных аппаратов и роботов; проектирование позиционных подводных аппаратов; прототипирование морской техники; отработка технологии производства морских подводных аппаратов и роботов.

В состав кафедры входит лаборатория морской робототехники, где находится большое количество учебных образцов торпедного и минного оружия ВМФ, на которых студенты изучают

конструкции морского подводного оружия (МПО).

В 2022 г. на базе АО «Концерн «МПО— Гидроприбор» была открыта базовая кафедра проектирования и технологии производства морского подводного оружия. В концерне создано образовательное пространство для базовой кафедры. Ее деятельность направлена на обеспечение производственных практик студентов кафедры и освоения технологии изготовления морского подводного оружия.

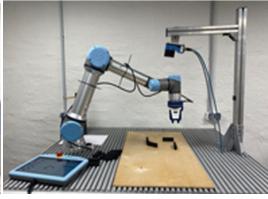
Кафедра активно участвует во всех конкурсах, которые проводит Минобрнауки РФ. Так, в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет—2030» в 2022 г. на кафедре открылась перспективная учебно-научная лаборатория технологии приборостроения и производства подводных аппаратов. Деятельность лаборатории направлена на развитие компетенций инженеров-технологов.

В 2022 г. совместно с АО «Концерн «МПО – Гидроприбор» проект кафедры победил в составе конкурсной заявки от СПбГМТУ «Передовые инженерные школы». На основе проекта создана научно-образовательная лаборатория «Цифровые измерительные системы и технологии подводной робототехники». Функционал лаборатории направлен на получение обучающимися компетенций в части изучения измерительных систем и технологий, разработку аппаратной части измерительных систем, систем проведения дистанционного эксперимента и интерактивных учебных комплексов опережающей подготовки инженерных кадров.









Учебно-научная лаборатория технологии приборостроения и производства подводных аппаратов



Секретарь Совета безопасности РФ Н. П.Патрушев вручает орден Дружбы профессору Юрию Александровичу Боженову, 31 августа 2022 г.



Почетная грамота коллективу кафедры за заслуги в обеспечении обороны и безопасности РФ от Н.П.Патрушева, 18 января 2023 г.

Кафедра морских информационных систем и технологий. В 1996 г. кафедрой выпущены первые бакалавры, а в 1998 г. — первые два магистра техники и технологии по программе «Информационно-измерительные системы и приборы морской техники», направление «Кораблестроение и океанотехника».

В 2000 г. кафедра получила новое название — «Морских информационных систем и технологий». В 2021 г. на ней открыта подготовка магистров по направлению «Мехатроника и робототехника», профиль — «Информационно-сенсорные системы мобильных роботов» (15.04.06.01).

В составе кафедры действуют учебные лаборатории:

- моделирования морских информационных систем,
- физических полей,

- робототехники,
- гидроакустический бассейн.

В 2015 г. при кафедре морских информационных систем и технологий открываются базовые кафедры:

- проектирование морских информационных систем (на базе АО «Концерн «Океанприбор»).
- мехатроника и робототехника (на базе ЦКБ МТ «Рубин»).

В настоящее время кафедра ведет подготовку по направлениям в области обнаружения и распознавания подводных объектов, способов наведения, неконтактного реагирования, защиты кораблей по физическим полям, алгоритмов обработки гидроакустической и гидрофизической информации.

Кафедра систем автоматического иправления и бортовой вычислительной техники. В 1992 г. при технической поддержке американской фирмы Octagon Systems и по проекту Ю.И. Жукова была создана учебная лаборатория встраиваемых в оборудование компьютерных систем. В 1996 г. была открыта новая специальность «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». Первый набор состоял из студентов Непала и Индии. В 1997 г. специальность «Автоматические системы управления морской техники» была сертифицирована в институте Морских инженеров Великобритании.

С 1994 г. преподаватели кафедры неоднократно выступали с циклами лекций в КНР. Результатом такой деятельности стало заключение с Китайской академией кораблестроения договора о выполнении комплексной научно-исследовательской работы по проблемам создания информационного обеспечения процессов проектирования в судостроении.

Под руководством заведующего кафедрой выполняются работы по научно-исследовательским темам в области управления движением подводных объектов по заказам предприятий судостроительной отрасли и Министерства образования и науки. Заключен договор о творческом сотрудничестве с Институтом проблем транспорта РАН.

В рамках задания Минобрнауки были выполнены следующие фундаментальные исследования:

- «Разработка методов определения параметров ориентации подводных технических объектов по информации от лазерных гироскопов»;
- «Навигация и управление движением подводного робота по видеоданным на основе интеллектуальных информационных технологий»;
- «Разработка теоретических основ проектирования систем управления движением подводных роботов

с параллельной бортовой вычислительной средой».

За заслуги в научной и педагогической деятельности в 2009 г. профессор Ю.Л. Сиек награжден нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», а профессор Б.Б. Шереметов – орденом Дружбы. К 90-летию СПбГМТУ профессор С.А. Рыков был награжден Почетной грамотой Минпромторга за большой вклад в развитие промышленности, профессор Е.Д. Скобов – медалью «За обеспечение национальной безопасности», а профессор Ю.Л. Сиек отмечен благодарностью губернатора Санкт-Петербурга «За многолетний добросовестный труд и большой вклад в развитие науки и системы высшего образования в нашем городе.

Сотрудники кафедры активно участвуют в изобретательской деятельности. На их счету — десятки авторских свидетельств и изобретений. Опубликовано более 30 учебников и учебных пособий, 10 монографий. Получены 4 охранных документа на интеллектуальную собственность с участием студентов.

Кафедра корабельных автоматизированных комплексов и информационноуправляющих систем. За многолетнюю плодотворную научную деятельность заведующему кафедрой, профессору Е.Н. Розенвассеру в 1998 г. присвоено звание заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации, а в 2020 г. он награжден орденом Дружбы. Также медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» награжден профессор О.В. Ефимов.

Высокий уровень подготовки выпускников кафедры корабельных автоматизированных комплексов и информационно-управляющих систем подтвердила ее аттестация в 1996 г. Институтом морских инженеров Великобритании.

Лаборатория завоевала заслуженный авторитет в судостроительной отрасли и в Военно-Морском Флоте РФ.

В 2013 г. на базе кафедры была открыта научно-педагогическая школа «Динамика и управление в корабельных комплексах» под руководством доктора технических наук, профессора Е.Н. Розенвассера для решения следующих залач:

- исследование и проектирование корабельных комплексов на основе технико-тактических имитационных моделей;
- разработка алгоритмов цифрового управления морскими подводными объектами;
- исследование и проектирование систем пуска морского оружия и средств самообороны.

В 2014 г. НИЛ СМ и НИЛ ДСК стали самостоятельными подразделения-



Посещение заместителем министра обороны РФ Н.А. Панковым научноисследовательской лаборатории системного моделирования (НИЛ СМ СПбГМТУ), 2006 г. Заведующий НИЛ СМ А.В. Шершнев (крайний справа) докладывает о ее работе

ми в составе научно-исследовательской части СПбГМТУ. С целью повышения качества обучения на базе кафедры и двух лабораторий (НИЛ СМ и НИЛ ДСК) создан научно-образовательный центр динамики и управления в корабельных комплексах (НОЦ ДУКК) под руководством доктора технических наук, профессора Е.Н. Розенвассера, исполнительным директором НОЦ ДУКК является кандидат техническихь наук, профессор А.В. Шершнев.

Кафедра гидрофизических средств поиска. Сейчас кафедра является единственной в стране, где комплексным методом ведется подготовка специалистов по физическим полям морских объектов, с широкими возможностями применения полученных знаний и умений в самых разнообразных отраслях науки и техники.

По этой же причине на кафедре по предложению Госстандарта, начиная с 1999 г., были организованы курсы повышения квалификации в области промышленной акустики и контроля электромагнитных полей, на которых прошли обучение более 800 специалистов 87 организаций и предприятий. При этом следует отдельно отметить, что толчком к организации курсов послужило постановление правительства об аттестации рабочих мест, принятое в 1999 г., благодаря которому возникла постоянная потребность в специалистах, занимающихся контролем физических факторов.

С привлечением к преподавательской деятельности в 2005 г. кандидата технических наук М.И. Розанова на кафедре расширилась тематика курсов и тем дипломных проектов, связанных с широкими возможностями применения привязных систем как буксируемых, так и стационарных во внутренних водоемах нашей страны. В первую очередь это связано с обеспечением работоспособности глубоководного нейтринного телескопа, развернутого и постоянно совершенс-

твующегося на озере Байкал. Часть из обширного перечня нестандартных проблем доцент М.И. Розанов решал с участием дипломников кафедры, в первую очередь магистров, к подготовке которых кафедра подключилась, начиная с 1995 г., по направлению «Информационно-измерительные системы морской техники».



Доцент М.И. Розанов участвует в своей 31-й экспедиции на оз. Байкал по развертыванию и обеспечению работы глубоководного нейтринного телескопа, 2019 г.

В эти годы к основным достижениям кафедры в области электромагнитных полей, исследования которых возглавлял заведующий кафедрой кандидат технических наук Е.А. Ивлиев (2011–2016), относятся:

- совершенствование методов расчета электромагнитных полей;
- создание теории имитаторов электромагнитных полей;
- повышение помехоустойчивости электромагнитных систем подводного поиска;
- разработка теории электромагнитных систем охраны водных районов;

 работы по электроосмотической очистке грунтов от органических загрязнителей.

В 1996 г. на базе Крыловского государственного научного центра создан филиал кафедры, преобразованный впоследствии в базовую кафедру «Физические поля объектов морской техники и океана», что позволяет привлекать к подготовке студентов специалистов практиков, а также прививать студентам навыки работы с современной аппаратурой в условиях уникальной стендовой базы научного центра.

Начиная с начала текущего столетия преподаватели выполнили большой перечень научно-инженерных работ, связанных с акустическими расчетами и проектами промышленных и гражданских объектов:

- измерения шума и вибрации тяжелой строительной техники, лифтового и грузоподъемного оборудования, производственных корпусов и зданий;
- акустическое обоснование размеров санитарно-защитных зон промышленных предприятий широкого профиля;
- разработка обратного метода контроля шума в местах с повышенным фоновым уровнем;
- разделы архитектурно-строительной акустики и охраны окружающей среды по шумовому фактору;
- разработка стандартных и нестандартных мероприятий по снижению шума и вибрации промышленных объектов и гражданских зданий;
- разработка методики расчета уровней звука от проведения взрывных работ в открытых карьерах;
- идентификация источников шума в производственных цехах с множеством производственных линий и разработка мероприятий по снижению шума.

Таким образом, успешная 90-летняя история развития факультета морского приборостроения подтверждает актуальность задачи, стоящей перед нашим университетом и государством в XXI в.: готовить инженерные кадры в области проектирования и технологии производства морского подводного оружия, развивать новые компетенции, такие как проектирование подводной робототехники и технология приборостроения.

ЛИТЕРАТУРА

- Трибель М.В. Исторические вехи университета.1875–2012 / Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. СПб.: Аграф+, 2012. 656 с.
- Боярский А.Г., Рогожников К.И., Трибель М.В. Из истории факультета морского приборостроения СПбГМТУ: Образование, становление. 1933–1945 гг. – СПб.: Инфо-да, 2014. – 104 с.

ВВЕДЕНИЕ

современном мире последние годы бурно развиваются нетрадиционные способы разрешения конфликтов, объединяемых понятием информационного противоборства в различных областях. В соответствии с существующим [1] определением информационное противоборство – это «система согласованных мероприятий и действий по дезорганизации или нарушению управления противника, защите системы собственного управления, завоеванию информационного превосходства над противником...».

Исход вооруженной борьбы в значительной степени ставится в зависимость от достоверности, полноты и своевременности информации, необходимой для оценки обстановки и принятия обоснованных решений, а также надежности и скрытности управления войсками и оружием при их реализации.

Эффективность управления войсками, силами и оружием в современных условиях во многом зависит от параметров и характеристик системы связи вооруженных сил. Специфичность современных систем военной связи заключается в том, что, с одной стороны, они решают задачи передачи, приема и обработки информации, а с другой - должны соответствовать требованиям устойчивости и живучести при воздействии на них противника. Причем приведение систем и средств военной связи в неработоспособное состояние может быть осуществлено противником путем не только их физического уничтожения, но и применения средств радиоэлектронного подавления. При этом соответствующим системам управления могут быть нанесены невосполнимые потери, а именно недоведение сообщений из-за того, что процесс обмена и обработки информации будет либо полностью прекращен преднамеренными радиопомехами, либо проходить в таком режиме, когда информация, получаемая на пунктах и объектах управления, теряет свою оперативную ценность.

Ввиду того, что стороны конфликтов постоянно и широко используют средства радиоэлектронного подавления в целях нарушения устойчивого управления войсками, вопросы создания (модернизации) помехозащищенных систем связи имеют важное значение. Высокий уровень помехозащищенных средств связи, образующих радиолинии между объектами взаимодействия, достигается путем разработки, совершенствования элементов системы.

Непрерывное развитие за рубежом техники военной связи и радиоэлектронного подавления в значительной степени (вторая главная причина — физическое и моральное устаревание эксплуатируемых средств связи) обуславливает проблему помехозащищенности средств связи, при-

О МЕТОДАХ РАЗРАБОТКИ АНТЕННЫХ СИСТЕМ КВ ДИАПАЗОНА ЧАСТЬ 1

В.Д. Пашкевич, начальник отдела перспективных исследований и разработок, **В.М. Голубев,** канд. техн. наук, гл. науч.сотрудник отдела перспективных исследований и разработок,

А.А. Павлов, генеральный директор,

С.В. Русин, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник отдела перспективных исследований и разработок, AO «НТИ «Радиосвязь»,

Я.А. Демидов, специалист по системам радиосвязи, контакт. men. +7 (962) 680 8607, pashkevich vd@ntiradio.ru

меняемых в настоящее время Министерством обороны РФ [2].

АО «НТИ «Радиосвязь» совместно с научно-исследовательскими организациями Минобороны России по тактико-техническим заданиям различных ведомств в период с 2010 по 2023 г. выполнило ряд НИОКР, задачами которых были разработка и модернизация специализированных комплексов связи и радиоэлектронной борьбы. В каждой работе создавались и исследовались уникальные антенные системы КВ диапазона, полученные результаты в целом в той или иной степени позволили улучшить тактико-технические характеристики системы связи и радиоэлектронной борьбы.

Настоящая статья посвящена вопросам исследования эффективности существующих и перспективных методов разработки (модернизации, совершенствования) элементов сети радиосвязи в декаметровом (ДКМВ) диапазоне — антенных систем, применение которых позволит в значительной степени повысить помехоустойчивость радиолиний боевого управления сетей радиосвязи различных ведомств, адаптируясь в известной степени к работе зарубежных средств радиоэлектронного подавления.

Антенные системы – сложный элемент радиотехнической системы в целом и, как следует из выражения (1), существенно влияют на энергетический показатель. Работа в диапазоне ДКМВ (от единиц до десятков мегагерц) предопределяет большие размеры антенных систем, которые могут составлять до сотен метров, а также их высокую стоимость, которая может составлять до 50 % общей стоимости системы [3]. Разработка, исследование принципов построения таких систем, совершенствование оптимального соотношения ее энергетических и неэнергетических (например, стоимость образца, занимаемая площадь) характеристик является актуальной задачей, направленной на совершенствование радиотехнической системы в целом. В данной статье рассматриваются методы расчета основных характеристик антенн $G_{\scriptscriptstyle{\Lambda \rm nep}}$ $F_{\text{пер}}^{2}(\Theta, \varphi)$, коэффициент стоячей волны по

напряжению (КСВН) в целях повышения (оптимизации) энергетических показателей радиолинии.

Несколько слов о КВ радиосвязи. Коротковолновая связь играет важную роль как средство магистральной внутренней и международной, зоновой, подвижной связи общего и ведомственного пользования, вследствие чего сохраняется необходимость ее технического совершенствования. Основанием для этого является правильная оценка КВ радиосвязи, учитывающая ее технический потенциал, народно-хозяйственное значение и экономическую эффективность, а также стратегическую роль как необходимого резерва. Ряд свойств КВ радиосвязи делают ее в определенных случаях незаменимой. Например, повреждение промежуточных (ретрансляционных) станций радиорелейных линий, выход из строя спутника могут привести к большим трудностям, вплоть до полной потери управления отдельными частями. В аналогичных условиях КВ радиосвязь может быть восстановлена в кратчайшие сроки при наименьших затратах. Радиоволны в диапазоне ДКМВ (длины волн от 10 до 100 м) распространяются с использованием двух механизмов – земной (поверхностной) волны и ионосферной (рис. 1 и рис. 2), которая при определенных условиях за счет свойств волн этих длин может многократно переотражаться от земной поверхности и ионизированных слоев атмосферы, что позволяет организовать радиосвязь на многие тысячи километров [4]. Недостатки КВ радиосвязи - относительно низкая скорость передачи, а также зависимость надежности канала от ионизации атмосферы. Именно поэтому КВ радиосвязь широко применяется в качестве основного резерва для более надежных систем связи.

Еще один недостаток — доступность КВ радиолиний средствам радиоразведки и радиоподавления. Поэтому при планировании развертывания радиолиний необходимо предусмотреть организационно-технические мероприятия, направленные на достижение требуемых показателей развед- и помехозащищенности

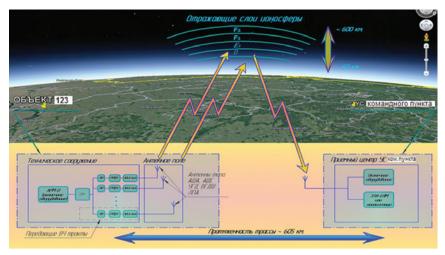


Рис. 1. Односкачковая радиолиния (протяженность трассы – 600-650 км)

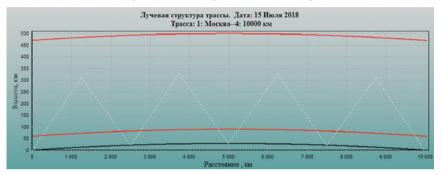


Рис. 2. Лучевая структура четырехскачковой радиолинии протяженностью 10 000 км

(РПЗ) средств и систем связи, которые определяются как техническими характеристиками оборудования, так и принципами построения и эксплуатации систем связи. Количественную оценку РПЗ средств и систем связи целесообразно проводить по таким показателям, которые непосредственно связаны с эксплуатационными характеристиками исследуемых объектов.

Опыт испытаний систем военной связи показывает, что наиболее целесообразными видами показателей помехозащищенности (в особенности для элементов системы военной связи высших уровней) являются:

- вероятностные (например, вероятности доведения сообщения, обнаружения объекта подавления, радиоподавления);
- относительные (коэффициент сохранения пропускной способности, достоверность);
- временные (среднее время доведения сообщений, время задержки сообщения, время вхождения в связь в условиях воздействия преднамеренных радиопомех).

При этом в некоторых случаях могут оказаться существенно информативными и другие показатели, например, коэффициент радиоподавления. Одним из способов затруднения радиоподавления является повышение энергопотенциала канала связи.

В ряде случаев РПЗ радиосредств предлагается оценивать сравнительным

методом. Суть метода заключается в том, что показатели представляют собой отношение меры качества связи без воздействия преднамеренной помехи к такой же мере в условиях радиоподавления за время доставки сообщения, не превышающее заданное.

Энергетический показатель — мощность или уровень сигнала на входе приемного устройства. Энергетический показатель является общим для всех существующих родов связи и определяющим для достижения требуемых показателей помехозащищенности.

Для расчета медианной мощности сигнала на входе приемника служит первое уравнение радиопередачи [2], аргументы которого в общем случае являются функциями частоты и условий распространения радиоволн:

$$P_{\text{np}} = \frac{P_{\text{nep}} \times \eta_{\Phi_{\text{Inep}}} \times G_{\text{Anep}}}{W_{\text{cs}} \times W_{\text{T}}} \times \frac{F_{\text{nep}}^{2} \left(\Theta, \varphi\right) \times G_{\text{Anp}} \times \eta_{\Phi_{\text{np}}} \times \xi_{\text{n}} \times \xi_{\text{c}}}{W_{\text{cs}} \times W_{\text{T}}},$$
(1)

где $P_{\rm nep}$ — мощность радиосигнала на выходе передающего устройства; $G_{\rm Anep}$, $\eta_{\rm Фнеp}$ — коэффициент усиления передающей антенны и КПД фидера на передаче; $F_{\rm nep}^2\left(\Theta, \varphi\right)$ — нормированная характеристика направленности передающей антенны; $G_{\rm Anp}$ и $\eta_{\rm Фnp}$ — коэффициент усиления приемной антенны и КПД фидера на приеме; $\xi_{\rm n}$, $\xi_{\rm c}$ — коэффициенты согласования приемной антенны с принимаемым полем по поляризации и

приемного фидера с входом приемника по сопротивлению; $W_{\rm cs}$ – затухание радиоволн в свободном пространстве, зависящее от расстояния (R) и длины волны (λ); $W_{\rm T}$ – дополнительное затухание радиоволн за счет влияния атмосферы, земной поверхности, различного рода неоднородностей и т. д., учитывающее конкретный механизм распространения радиоволн.

В мировой практике до 90-х гг. прошлого столетия применялись два метода при разработке антенных систем:

- теоретическое моделирование или расчетный метод;
- физическое макетирование разрабатываемой антенной системы с последующими экспериментальными исследованиями ее характеристик.

Круг электродинамических задач, решения которых можно получить в замкнутом виде путем непосредственного решения интегродифференциальных уравнений достаточно узок, а расчетные модели обладали высокой идеализацией, поэтому полученные результаты, как правило, служили лишь неким ориентиром при дальнейшей разработке, которая проводилась с помощью второго метода — физического макетирования.

Такая процедура разработки антенных систем была весьма дорогостоящей и занимала длительное время. Особенно большие сложности возникали при разработке антенных систем декаметрового диапазона ввиду их больших размеров.

За последние 20-30 лет в связи с огромным ростом вычислительных мощностей ЭВМ, а также развития численных методов решения систем интегральных уравнений высокого порядка появился новый метод – численный эксперимент, суть которого состоит в построении подробной математической модели разрабатываемой антенной системы и расчете ее характеристик с помощью специализированных программных продуктов с эффективным и удобным для пользователя интерфейсом, который позволяет оперативно изменять геометрию расчетной модели, добиваясь соответствия характеристик разрабатываемой антенной систем заданным.

АО «НТИ «Радиосвязь» в ходе выполнения НИОКР, направленных на совершенствование систем связи коротковолнового диапазона и их элементов - антенных систем нового конструктивного исполнения - широко применялся метод численного эксперимента с построением полноразмерных математических моделей. В рамках этих работ авторами исследовались основные характеристики передающих антенных систем (КСВН, G_{Anep} , $F_{\text{пер}}^2(\Theta, \varphi)$) различных типов, полученные как традиционными методами (расчетный аналитический и постановка физического эксперимента на масштабных моделях антенн 1:50, 1:100), так и методом численного эксперимента с математическими моде-

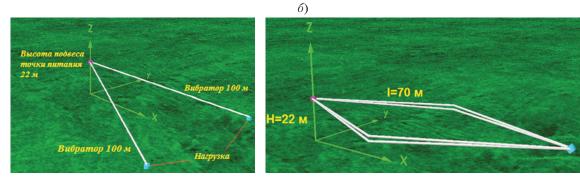


Рис. 3. Общий вид антенных систем: a – V-образная антенна (типоразмер VH

лями тех же антенн для их последующего сравнения.

a)

Исследование характеристик антенных систем, полученных различными методами, сравнительный анализ результатов и формирование выводов о целесообразности применения метода численного эксперимента представляют, на наш взгляд, определенный научный и практический интерес. Кроме того, это позволило сформировать концепцию применения этого метода при разработке антенных систем КВ диапазона для наиболее эффективного их применения в составе комплексов радиосвязи, позволяющую во многих случаях отказаться от дорогостоящего метода физического эксперимента, в том числе при проведении испытаний опытных и экспериментальных образцов.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

За объект исследований возьмем наиболее простые в конструктивном исполнении: V-образную антенну (рис. 3, *a*) и ромбическую горизонтальную антенну (РГ) (рис. 3, *б*), которые являются разновидностью антенн бегущей волны, обладающей достаточной широкополосностью и выраженными направленными свойствами [5]. Такие антенны широко применяются в военной технике в составе мобильных и станионарных комплексов КВ радиосвязи. V- образная антенна представляет собой симметричную структуру, выполненную из двух проводов длиной по 100 м каждый. Один конец антенны, являющийся ее входом, подвешен на мачте высотой 22 м. Провода расположены относительно друг друга под углом 50°. Нижний конец каждого провода нагружен на сопротивление номиналом 400 Ом в целях обеспечения режима бегущей волны. Ромбическая антенна - симметричная, выполнена по классической схеме и подвешена на четырех мачтах. Стороны ромба – это два расходящихся провода, расстояние между которыми максимально у вершины тупого угла и составляет 2 м. Длина каждой стороны ромба составляет 70 м, тупые углы между сторонами ромба равны 130°, а острые -50°. Входом антенны являются концы проводов, сходящиеся в одном из острых углов ромба и разнесенные с помощью палочного изолятора на расстояние 250 мм.

$\frac{100}{22}$), б – $P\Gamma$ антенна

Такая конфигурация была обоснована и выбрана для наиболее эффективного функционирования на исследуемых в проводимой работе радиолиниях. Частотный диапазон антенны — от 5 до 19 МГи.

Используя принцип электродинамического подобия, были также изготовлены масштабные модели, выполненные в масштабе 1:50 (рис. 4 и рис. 5). Модели антенн выполнялись из медных посеребренных проводов. В качестве нагрузок в проводах антенн использовались резисторы соответствующих номиналов. В качестве моделей мачт применялись диэлектрические (стеклотекстолитовые) стержни. Симметричная линия, питающая антенны, составлена из двух отсимметрированных по длине и по фазе отрезков радиочастотного кабеля. Симметричная линия со стороны подключения к измерительному прибору и со стороны нагрузки (антенны) разделана на радиочастотные соединители. Конструкция таких антенн обеспечила диапазон частот от 250 до 950 МГц (от 5 до 19 МГц при пересчете на полноразмерные антенны).

Продолжение следует.

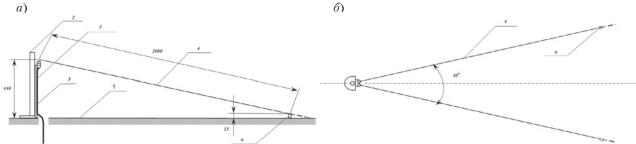


Рис. 4. **V-образная антенна в масштабе 1:50: а – вертикальная проекция, б – горизонтальная проекция** 1 – металлизированная площадка измерительного стенда; 2 – диэлектрическая мачта диаметром 16 мм; 3 – симметричная линия; 4 – медный посеребренный провод диаметром 0,8 мм, длиной 2 м; 5 – пластина латунная; 6 – нагрузки проводов номиналом 400 Ом

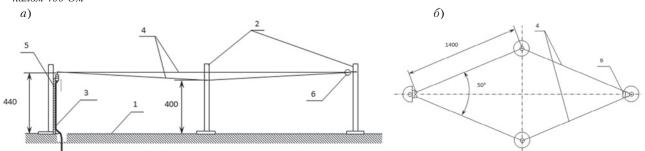


Рис. 5. **Антенна РГ в масштабе 1:50: а – вертикальная проекция, б – горизонтальная проекция** 1 – металлизированная площадка измерительного стенда; 2 – диэлектрическая мачта диаметром 16 мм; 3 – симметричная линия; 4 – медный посеребренный провод; 5 – пластина латунная; 6 – нагрузки проводов номиналом 400 Ом

последнее время достаточно актуральными стали вопросы разработки систем автономного судовождения (САС), позволяющие осуществлять автоматическое и дистанционное управление надводными судами. Для таких системах актуальной является проблема повышения помехоустойчивости канала радиосвязи с сохранением высокой скорости передачи данных.

Правильный выбор сочетания метода помехоустойчивого кодирования и сигнальной конструкции позволяет решить эту проблему, а также сохранить невысокую сложность реализации аппаратно-программного комплекса линии радиосвязи.

ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО СУДОВОЖДЕНИЯ СИГНАЛЫ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ КОДЫ

Глобально САС можно разделить на два вида: портовые системы и системы навигации на открытой воде. Для каждого из них характерны различные характеристики канала и требования к нему.

В данной статье рассматриваются портовые системы автономного судовождения. К ним относятся системы навигации буксиров, бункеровщиков, нефте- и мусоросборщиков, разъездных катеров. Развитие автономного портового флота позволит модернизировать инфраструктуру современного морского порта и обеспечить движение автономных крупнотоннажных грузовых судов в портовой акватории.

Основной задачей портовых САС является охват системой связи всей акватории порта, причем в любой точке акватории должна быть обеспечена доступность связи как минимум с двумя береговыми базовыми станциями. Дистанция от базовой станции до абонента обычно не превышает 10 км [1].

Основные виды передаваемой информации в портовых САС: телеметрия, команды управления, видеопотоки.

Для различных каналов в зависимости от требований к помехоустойчивости и скорости передачи информации для конкретного типа канала в портовых САС применяются и планируются к применению различные многопозиционные сигналы: QPSK, QAM16-QAM256, QAM1024 и помехоустойчивые коды: сверточные, код БЧХ, код Хэмминга, каскадные, турбокоды.

Методы формирования и приема сигнально-кодовых конструкций (СКК) на основе рассматриваемых методов модуляции и кодирования в радиотехнических системах подробно рассмотрены в [2-4]. Моделирование СКК на основе треллис-кодовой модуляции с небольшой позиционностью сигналов для QAM-4, QAM-8 и PSK-4, PSK-8 было

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ И МНОГОПОЗИЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В ЛИНИЯХ РАДИОСВЯЗИ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО СУДОВОЖДЕНИЯ

Е.И. Глушанков, д-р техн. наук, проф., вед. специалист НТЦ ИКС НК АО «ПКБ «РИО», **С.А. Митянин,** аспирант СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, **Е.А. Рылов,** канд. техн. наук, ген.директор АО «ПКБ «РИО», glushankov57@gmail.com, s.mityanin@gmail.com, rylov79@mail.ru

проведено в [5]. Однако реальные сигналы в САС обладают гораздо большей позиционностью, что требует разработки программного комплекса, позволяющего учитывать эти особенности.

НЕОБХОДИМОСТЬ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА СКК В САС

Необходимость создания программного комплекса для анализа совместного применения помехоустойчивого кодирования и использования различных сигнальных конструкций в каналах радиосвязи обусловлена в первую очередь важностью предварительной оценки характеристик помехоустойчивости при различных значениях отношения мощности сигнал-шум при заданных требованиях к скорости передачи.

Среди методов помехоустойчивого кодирования в данной статье рассматриваются:

- параллельный составной код на основе решетчатых сверточных кодов с порождающими полиномами второй степени и задержкой на входе от 3 до 8 в зависимости от числа параллельных кодеров;
- последовательный каскадный код из решетчатого сверточного кода с порождающим полиномом второй степени и задержкой на входе 3 и кода БЧХ (7.4);
- последовательный каскадный код из циклических кодов Хэмминга (7, 4);
- последовательный каскадный код из двух решетчатых сверточных кодов с порождающими полиномами третьей степени и задержкой на входе от 3 до 4
- последовательный каскадный код из решетчатого сверточного кода с порождающими полиномами второй степени и задержкой на входе от 3 до 6 и кода Хэмминга (7, 4).

В качестве сигнальных конструкций рассмотрены основные типы созвездий, применяемых в САС: QAM128, QAM256, QAM1024.

Широкий набор возможных сочетаний методов помехоустойчивого кодирования и многопозиционных сигналов говорит о необходимости предварительного анализа для корректного выбора сочетания, позволяющего достичь требуемых характеристик канала связи.

СОСТАВ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Программный комплекс реализован на платформе Mathworks Matlab и состоит из следующих модулей:

- генератор информационной последовательности символов;
- кодер;
- модулятор QAM;
- модель канала АБГШ;
- демодулятор QAM;
- декодер;
- анализатор количества ошибочно принятых символов.

В качестве генератора информационной последовательности символов использовалась функция randi, выдающая вектор заданной длины, состоящий из значений 0 и 1, распределенных непрерывно и равномерно.

Для параллельного составного кода входная информационная последовательность сначала разделяется на подпоследовательности последовательным перемежителем, затем каждая такая подпоследовательность поступает на вход отдельного сверточного кодера. Символы с выходов кодеров затем объединяются в единую последовательность, подаваемую на модулятор.

В случае последовательного каскадного кода перемежения не осуществляется, и информационная последовательность сначала поступает на внешний кодер, затем на внутренний. Символы с выхода внутреннего кодера подаются на модулятор.

Для кодирования применяются функции convenc и encode. В качестве модулятора используется функция qammod.

Моделирование канала с аддитивным белым гауссовским шумом осу-

ществляется с помощью функции awgn, при этом значения отношения сигнал/ шум изменяются в процессе моделирования. В качестве демодулятора используется функция qamdemod.

Для декодирования во всех случаях используются декодер Витерби и функция vitdec. При этом в случае с параллельным кодированием предварительно разделяется последовательность аналогично разделению на этапе кодирования, а в случае с последовательным кодированием сначала используется внутренний декодер, затем внешний.

В программный комплекс также включен модуль, позволяющий получить характеристики помехоустойчивости для случаев, в которых кодирование не применяется, но используется СКК.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Рассмотрим результаты моделирования для различных размерностей QAMсозвездий раздельно, поскольку выбор размерности созвездия в каналах радиосвязи САС в большей степени обусловлен требованиями к скорости передачи информации.

Для анализа эффективности были построены графики зависимости вероятности ошибки на бит (BER) от отношения сигнал/шум (SNR) на логарифмической шкале. Результат анализа для QAM128 представлен на рис. 1.

Применялись следующие варианты кодирования:

- каскад из сверточного и БЧХ кодеров;
- каскад из циклического и БЧХ кодеров;
- каскад из кода Хэмминга и БЧХ кодеров;
- параллельное сверточное кодирование.

Из полученных результатов очевидно, что кодирование имеет смысл в среднезашумленных каналах связи. При малых отношениях сигнал/шум (SNR) выигрыша в вероятности ошибки не наблюдается. В среднем рассматриваемом диапазоне значений SNR разница может достигать 1,5 порядков.

Наиболее интересным с точки зрения помехоустойчивости является использование последовательного каскадного кодера, состоящего из сверточного и БЧХ кодера.

Для созвездия QAM256 применялись следующие варианты кодеров:

- параллельное сверточное кодирование;
- каскадное сверточное кодирование. Результаты моделирования для созвездия QAM256 приведены на рис. 2.

В случае созвездия с более высокой размерностью картина для зашумленного канала остается прежней — применение кодирования нецелесообразно. Но при

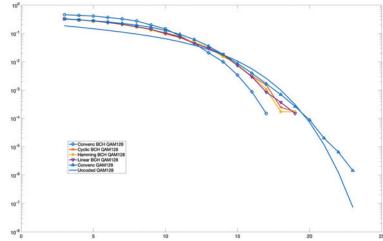


Рис. 1. Результат моделирования ВЕК для QAM128

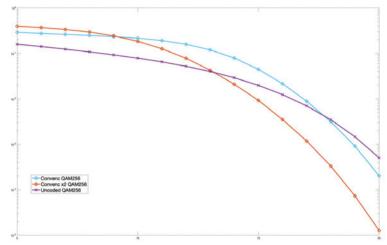


Рис. 2. Результат моделирования ВЕК для QAM256

понижении шума выигрыш от использования помехоустойчивого кодирования становится довольно существенным. Так, каскадное сверточное кодирование дает существенное преимущество в BER относительно отсутствия кодирования.

Таким образом, для созвездия СКК QAM256 целесообразно применение каскадного сверточного кодера.

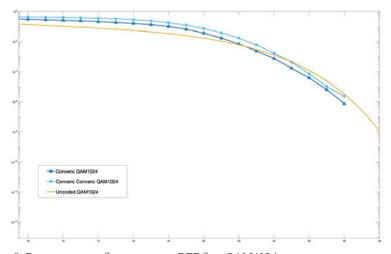
Для созвездия QAM1024 применялись аналогичные варианты кодирования, что и для QAM256:

• параллельное сверточное кодиро-

вание:

• каскадное сверточное кодирование. Результат моделирования приведен на рис. 3.

Для QAM1024 ситуация несколько меняется — кодирование имеет смысл лишь при относительно больших значениях SNR. При этом выигрыш от применения кодеров не столь велик, как для созвездий QAM128 и QAM256. Это обусловлено в первую очередь малым евклидовым расстоянием между элементами созвездия.



Puc. 3. Результат моделирования BER для QAM1024

Если рассматривать эффективность кодеров, то для данного случая целесообразнее применять параллельное сверточное кодирование.

Результаты моделирования говорят прежде всего о важности предварительного анализа эффективности применения того или иного варианта помехоустойчивого кодирования, поскольку в зависимости от применения тех или иных созвездий СКК имеет смысл применение различных алгоритмов.

редства коротковолновой (КВ) связи во многих случаях являются единственными, способными обеспечить непрерывное управление войсками в самой сложной обстановке. С учетом особенностей действий военно-морского флота при значительных удалениях кораблей от баз и береговых объектов этот вид радиосвязи приобретает особую важность.

Значение КВ радиосвязи определяется в первую очередь оперативностью установления связи на большие расстояния, простотой организации связи с подвижными объектами, возможностью обеспечения связи через протяженные труднодоступные пространства, несмотря на ограниченную пропускную способность, относительно невысокую скрытность и помехозащищенность.

Эффективное обеспечение КВ радиосвязи – достаточно сложная задача в силу многих случайных факторов, влияющих на прохождение радиоволн в этом диапазоне. В связи с этим особую роль играет грамотная организация службы прогнозирования распространения радиоволн и ее основного элемента – ионосферно-волновой и частотно-диспетчерской службы. В основу их работы заложен анализ методов прогнозирования распространения радиоволн в КВ диапазоне, в основе которых лежат вертикальное (ВЗ) и возвратно-наклонное зондирование (ВНЗ) трасс радиосвязи.

С целью повышения точности прогнозирования прохождения пространственных радиоволн в КВ диапазоне применяют оперативную диагностику параметров ионосферы. По геометрическим параметрам трассы распространения радиоволн при диагностике параметров ионосферы различают ВЗ и ВНЗ ионосферы. Наиболее полную информацию о состоянии ниже максимума электронной концентрации ионосферы дают средства ВЗ [1].

Принцип действия ионозонда ВЗ основан на излучении на сетке несущих частот (обычно 1–20 МГц) сигналов с последующей их регистрацией при отражении от ионосферы. Результат зондирования ионосферы регистрируется

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Ahvenjärvi S. Proceedings of the 12th International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. London: CRC Press. 2017. 434 c.
- Варгаузин В.А., Цикин И.А. Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 352 с.
- Голиков А.М. Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах. Теория и практика: учеб.
- пособие для вузов. 2-е изд. СПб.: Лань, 2021.-452 с.
- Быховский М.А. Гиперфазовая модуляция

 оптимальный метод передачи в гауссовских каналах связи.
 М.: ТЕХНОСФЕ-РА. 2018.
 310 с.
- Kirik D.I., Glushankov E.I., Kozlov D.V., Korovin K.O., Afanasiev N.A. Study of trellis coded modulation with space-time coding.

 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2021. Conference Proceedings, 2021, 9488338.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРОТКОВОЛНОВОЙ СВЯЗИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

Ю.О. Батурин, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, директор филиала АО «НПО Завод «Волна», г. Воронеж, **А.А. Саватюгин,** исполнительный директор АО «НПО Завод «Волна», контакт. тел. (812) 244 9442

в виде ионограмм. Для цифрового ионозонда ионограмма представляет собой цифровую матрицу, где в каждой ячейке записано значение амплитуды сигнала, а также может содержаться информация (в зависимости от типа ионозонда) о поляризации, доплеровском сдвиге частоты и углах прихода радиоволны. Выделение на ионограмме следов, соответствующих отражениям от различных слоев ионосферы, позволяет получить зависимость кажущейся (действующей) высоты отраженного ионосферой сигнала от частоты зондирования или, другими словами, высотно-частотную характеристику (ВЧХ). В рамках определенных предположений с помощью ВЧХ может быть рассчитан профиль электронной концентрации, который и представляет собой основную информацию об ионосфере, получаемую с помощью ВЗ. Недостатком метода ВЗ, который компенсируется установкой сети станций, является его локальность. Оперативное представление данных ВЗ в мировой сети Internet позволяет использовать их для решения большинства прикладных задач.

Альтернативой импульсному ионозонду является ионозонд непрерывного излучения сигнала с линейно-частотной модуляцией — ЛЧМ-ионозонд. Основное достоинство ЛЧМ-ионозонда по сравнению с его импульсным аналогом — это то, что при одинаковой мощности передатчика ЛЧМ-ионозонд реализует гораздо более высокое соотношение сигнал/шум либо для реализации одинакового соотношения сигнал/шум ЛЧМионозонду требуется гораздо меньшая мощность передатчика. ЛЧМ-ионозонды нашли широкое применение для НЗ ионосферы [2]. Применение непрерывных сигналов с ЛЧМ при ВЗ ограничивалось из-за необходимости непрерывной работы передатчика и просачивания прямого сигнала в приемный тракт [3]. Одним из возможных вариантов решения этой проблемы является использование коммутации псевдослучайной последовательностью [4]. В настоящее время проблема электромагнитной совместимости приемной и передающей частей ионозонда при использовании непрерывного ЛЧМ-сигнала решена путем использования цифровых приемников с большим динамическим диапазоном и разноса передающей и приемной антенн [5, 6].

Разработанный в ИСЗФ СО РАН многофункциональный ЛЧМ-ионозонд за счет использования цифровой обработки сигнала и непрерывных сигналов со сложной фазовой модуляцией имеет излучаемую мощность порядка 10 Вт, что позволяет добиться более высокой электромагнитной совместимости по сравнению с другими типами ионозондов (минимальная мощность передатчиков импульсных ионозондов составляет порядка сотен ватт) [7].

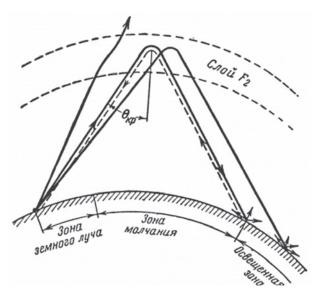


Рис. 1. Схема распространения радиосигнала при ВНЗ ионосферы

Метод ВНЗ вошел в практику исследования ионосферы наряду с вертикальным и наклонным зондированием, и имеется опыт его применения для прогнозирования условий распространения радиоволн на линиях радиосвязи и в системах загоризонтной радиолокации. Метод ВНЗ ионосферы основан на свойстве земной поверхности рассеивать радиоволны декаметрового диапазона. Упрощенно, схема зондирования при этом выглядит следующим образом (рис. 1): передающая антенна ионозонда ВНЗ излучает радиоволны, которые распространяются по наклонным траекториям до высот ионосферы, отражаются от нее и возвращаются к земной поверхности, где рассеиваются на ее неровностях (шероховатостях). Часть энергии радиоволн рассеивается земной поверхностью в обратном направлении и может вернуться к месту расположения ионозонда по тем же траекториям, вторично отразившись от ионосферы. Слабый рассеянный сигнал может быть зарегистрирован приемной аппаратурой ионозонда. Зондирование, как правило, осуществляется во всем декаметровом диапазоне, поэтому результатом зондирования является зависимость амплитуды принимаемого сигнала от рабочей частоты зондирования и задержки распространения. Данная зависимость, представленная в графическом виде, называется ионограммой ВНЗ.

Как известно, при падении на ионосферный слой радиоволн с углами меньшими, чем некоторый критический угол, определяемый критической частотой ионосферы, отражения не происходит. В результате вблизи поверхности земли на удалении от передатчика в несколько сотен километров возникает так называемая «мертвая зона» или «зона молчания» — область, в которой прием радиоволн невозможен. Лучи, имеющие углы падения на ионосферный слой большие, чем критический, отражаются от него и формируют

освещенную зоны («зону приема»). На ионограммах ВНЗ передний фронт принятого рассеянного сигнала (с минимальной задержкой распространения) соответствует границе освещенной зоны. За счет двойной фокусировки на границе освещенной зоны передний фронт сигнала ВНЗ очень резкий, что позволяет уверенно выделять дистанционно-частотную характеристику (ДЧХ) сигналов ВНЗ (зависимость минимальной задержки распространения радиосигнала от частоты зондирования) на ионограммах. В свою очередь, ДЧХ ВНЗ может быть далее использована для определения положения границы освещенной зоны, а также максимально применимой частоты (МПЧ) на дальность, соответствующую этой границе.

Среди радиотехнических систем, работающих в режиме ВНЗ, можно выделить два крайних вида по мощности излучения. К первому виду относятся системы с излучаемой мощностью свыше 10 кВт, ко второму виду — системы с меньшей мощностью. Качество получаемых ионограмм ВНЗ напрямую связано с мощностью излучения: чем выше излучаемая мощность, тем больше отношение сигнал/шум, что позволяет регистрировать рассеянные сигналы с больших дальностей и с высоким разрешением, улучшает обработку и интерпретацию ионограммы.

Однако большая передаваемая мощность увеличивает затраты на поддержку работы системы. Также возникает проблема электромагнитной совместимости зондирующей системы в целом. Для решения проблемы повышения энергетического потенциала станций при ограничении излучаемой мощности и для обеспечения высокого разрешения по времени в радиолокации широко используются сигналы с ЛЧМ. В режиме ВНЗ ЛЧМ-ионозонд позволяет регистрировать сигналы, рассеянные земной поверхностью на больших удалениях от излуча-

теля при относительно малых мощностях передатчика путем использования технологии сжатия сигнала по частоте [2, 3, 5]. Многолетний опыт экспериментальных исследований ВНЗ ионосферы на базе ЛЧМ-ионозонда, разработанного в ИСЗФ СО РАН, выявил потенциальные возможности таких систем для диагностики среды распространения в пределах максимальной дальности одного скачка (~3000÷4000) [8, 9].

Для исследования особенностей ВНЗ по экспериментальным данным привлекались результаты моделирования характеристик ЛЧМ-сигналов при ВНЗ ионосферы в рамках волноводного подхода [10, 11] с использованием модели IRI [12]. При моделировании сигналов ВНЗ используется приближение, в котором рассеянное поле выражается через локальные характеристики падающего поля (угол падения, амплитуду) и характеристики рассеивателя (амплитуду рассеяния или диаграмму рассеяния). В методе нормальных волн [13] введение указанных понятий возможно посредством установления связи коэффициентов возбуждения нормальных волн с амплитудой рассеяния [14, 15].

Ранее был разработан метод моделирования характеристик ЛЧМ-сигналов при ВНЗ ионосферы на основе приближения некогерентного рассеяния, в котором характеристики рассеянного поля выражаются через характеристики падающего поля (угол падения, амплитуду) и локальную диаграмму рассеяния $\sigma(\alpha)$ α_s) или коэффициент рассеяния $\sigma_o(\alpha_s, \alpha_s)$ [16]. Было получено соотношение, связывающее коэффициенты возбуждения нормальных волн с диаграммой рассеяния единичной площадки земной поверхности и амплитудой падающего поля. Под действием падающего на земную поверхность \vec{r}_c поля $E(\vec{r}_c)$ индуцируется ток, который является источником вторичного излучения, т.е. отражающие свойства поверхности определяют источники рассеянного поля. Оценки размеров отражающей площадки свидетельствуют о том, что для земной поверхности хорошим приближением может служить приближение некогерентного рассеяния. Если считать, что в пределах площадки S амплитуда падающего поля $A_i(\vec{r}_c)$, угол падения α. и коэффициент рассеяния $\sigma_0(\alpha_s, \alpha_s)$ слабо меняются, можно записать выражение для рассеянного поля $E_i^p(\vec{r},t)$ в виде

$$E_{j}^{p}(\vec{r},t) = \operatorname{Re} \sum_{n=n_{1}}^{n_{m}} a_{n}(\vec{r},\tau_{n}) I_{n}(\varphi) \times \exp\{i \int_{0}^{\theta} v_{n}(\theta_{1}) d\theta_{1} - i\omega t\}.$$
(1)

Здесь $a_n(\vec{r}, \tau_n)$ — амплитудные множители, $v_n = ka\gamma_n + iv_{2n}$, τ_n — задержка нормальной волны [16, 17].

Угловая дальность θ отсчитывается от рассеивателя до точки приема. Ко-

эффициенты возбуждения нормальных волн $I_{..}(\phi)$ имеют вид

$$I_n(\varphi) = A_i(r_{\xi}) \sqrt{\frac{\sigma_0(\alpha_i, \alpha_s) S \cos \alpha_i}{4\pi}}, \quad (2)$$

где α_s – угол рассеяния.

Используя приближенные аналитические (для морской поверхности [18]) и экспериментальные (для суши) выражения для коэффициента рассеяния $\sigma_0(\alpha_r, \alpha_s)$ как функции углов падения и рассеяния рассчитываются характеристики сигналов ВНЗ по схеме, развитой для сигналов наклонного зондирования ионосферы [18].

В рамках волноводного подхода электромагнитное поле излучения внутри волновода Земля—ионосфера представляется в виде суммы эффективно возбуждаемых и слабо просачивающихся нормальных волн. Поле отдельной нормальной моды распределено по всему сечению волновода и зависит от его глобальных характеристик. Суммарное же поле КВ сигнала локализовано вблизи траекторий лучей, где выполняется условие стационарности — разность фаз соседних нормальных мод равна $2\pi l$. Для приземных излучателя и приемника оно имеет вид

$$\Delta \Phi_{_{n}} = (\Phi_{_{n}} - \Phi_{_{n+1}}) = 2\pi l, \tag{3}$$
 где $\Phi_{_{n}} = \int\limits_{_{0}}^{\theta} \gamma_{_{n}}(\theta_{_{1}}) d\theta_{_{1}}$; l – число отражений траектории сигнала от ионосферы.

Условие стационарности позволяет определить центральные номера n_i пакетов волн, складывающихся почти в фазе и дающих основной вклад в значение поля в точке наблюдения. Угол выхода траектории Δ из точки излучения связан с центральным номером n_i группы сфазированных нормальных мод соотношением $\cos \Delta = \gamma_{n_i}(0)$, где γ_n — спектральный параметр нормальной волны.

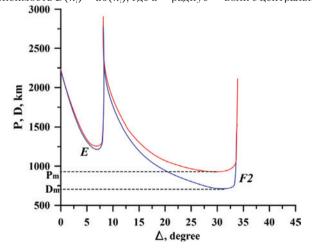
Решение трансцендентного уравнения стационарности относительно угловой дальности θ для заданных значений n_i позволяет построить аналог дальностно-угловой характеристики, зависимость $D(n_i) = a\theta(n_i)$, где a — радиус

Земли. Вычисляя групповую задержку центральной волны n, используя $\theta(n)$, получаем аналог дистанционно-угловой характеристики, зависимость $P(n_i)$, где Р – групповой путь. На рис. 2 приведены зависимости $D(\Delta)$ (синяя линия) и $P(\Delta)$ (красная линия) односкачкового сигнала для рабочей частоты f = 10 MГц для среднеширотной трассы. Значения центрального номера n_i переведены в углы выхода луча Д, используя связь номера n_i со спектральным параметром у уравнением на спектр нормальных волн [17]. Для каждого из волноводных каналов E и F2 присутствуют свои зависимости $D(\Delta)$ и $P(\Delta)$. Минимум в зависимости $D(\Delta)$ соответствует границе освещенной зоны D_m . Минимум в зависимости $P(\Delta)$ определяет минимальный групповой путь $P_{\scriptscriptstyle m}$. На рисунке отмечены D_m и P_m для канала F2. Из рис. 2 видно, что минимумы в зависимостях $P(\Delta)$ и $D(\Delta)$ соответствуют разным углам выхода траектории, поэтому дальность до границы освещенной зоны $D_{...}$ не совпадает с дальностью, на которой достигается минимум группового пути P_{m} . Это хорошо видно на рис. 3, где приведена зависимость P(D). С увеличением рабочей частоты эта разность уменьшается.

Известно, что максимум в амплитудном рельефе сигнала ВНЗ формируется сигналами, рассеянными на границе освещенной зоны D_m , в области фокусировки, где происходит слияние верхнего и нижнего лучей падающего поля [18]. Рабочая частота f для дальности $D_{m}(f)$ является максимальной применимой частотой f_m (МПЧ) радиосвязи. Таким образом, решение уравнения стационарности относительно номера n_i позволяет определить структуру падающего поля: количество модов распространения, групповые задержки отдельных лучей, углы выхода и прихода траекторий распространения сигнала. Амплитудные характеристики падающего поля рассчитываются путем численного суммирования пакетов сфазированных нормальных волн с центральным номером n_i с учетом антенно-фидерных устройств для передающих и приемных антенн [20, 21].

При ВНЗ ионосферы освещенная область земной поверхности простирается на тысячи километров, начиная от дальности мертвой зоны. Однако в каждый конкретный момент времени из всей освещенной области «засвечиваются» только некоторые площадки, размеры которых определяются наклоном траектории распространения сигнала и пространственной длиной зондирующего импульса $\Delta P = c\Delta \tau / 2$, где $\Delta \tau -$ длительность импульса. Для расчета размеров рассеивающих площадок используются зависимости P(D). Как показали оценки [19, 20], типичные размеры засвеченных площадок малы по сравнению с шириной волновода и расстоянием до них, а амплитуду падающего поля и угол падения в их пределах можно приближенно считать постоянными.

Для построения амплитудного рельефа сигнала ВНЗ в некогерентном приближении необходимо провести «сборку» всех лучей с площади засветки и вычислить амплитуду суммарного сигнала в каждый выбранный момент времени. Используя зависимости, и определяются локальные участки земной поверхности, от которых идет рассеяние в текущий момент времени. Зная координаты рассеивающей области и центральный номер группы волн, формирующих падающее поле, рассчитывают и восстанавливают коэффициенты возбуждения и вычисляют амплитудные характеристики рассеянного поля в точке приема. Необходимо отметить, что падающее поле рассеивается засвеченной площадкой по всем направлениям. Однако в пренебрежении изменениями ионосферы за время распространения до рассеивающей площадки и обратно сигнал в точку приема распространяется по тем же траекториям, по которым приходит к площадке. Поэтому при наличии одного волноводного канала в каждый момент времени засвечивается не более двух площадок, а в точку приема может прийти не более четырех сигналов, групповые задержки



Puc. 2. Зависимость $D(\Delta)$ и $P(\Delta)$

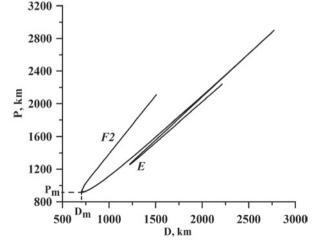


Рис. 3. **Зависимость Р(D)**

которых в зависимости от типа траектории и дальности по земле определяются по формулам [20]

$$\begin{split} \tau_{BB}(\theta) &= 2\tau_{B}(\theta); \\ \tau_{HH}(\theta) &= 2\tau_{H}(\theta); \\ \tau_{BH}(\theta) &= \tau_{B}(\theta) + \tau_{H}(\theta); \\ \tau_{HB}(\theta) &= \tau_{H}(\theta) + \tau_{B}(\theta), \end{split} \tag{4}$$

где $\tau_B(\theta)$ и $\tau_H(\theta)$ – зависимости задержек сигналов, распространяющихся по траекториям верхнего и нижнего лучей соответственно.

При наличии нескольких слоев и рассмотрении скачков разной кратности количество засвеченных площадок увеличивается. Амплитуды отдельных сигналов, пришедших в данный момент времени в точку приема, суммируются некогерентно. Использование аппарата приближения функций локальными В-сплайнами второй степени позволяет реализовать эффективную схему вычислений сигнала ВНЗ. Моделирование огибающей регистрируемого спектра ЛЧМсигнала проводится с учетом способа обработки сигнала в приемном устройстве.

По результатам модельных расчетов амплитудного рельефа ЛЧМ-сигнала при ВНЗ ионосферы можно обосновать выбор методики оперативного расчета ДЧХ ВНЗ по переднему фронту на основе метода нормальных волн. Так как максимум в амплитудном рельефе сигнала ВНЗ близок по групповому пути к границе переднего фронта, расчет ионограммы ВНЗ можно проводить на основе расчета частотной зависимости минимального группового пути $P_{\scriptscriptstyle m}$ сигналов наклонного зондирования, которые определяются как минимумы функции $P_{i}(f, n)$. Входными параметрами являются высотные профили электронной концентрации N(h), рассчитанные по модели IRI. В заданных по трассе распространения точках θ_k , k = 1, N решается уравнение стационарности относительно номера n_{ik} для всех каналов распространения Е, F1 и F2. По рассчитанным значениям $n_{i,k}$ и угловой дальности θ_{ι} рассчитываются групповые пути распространения сигнала вдоль траекторий в каждом канале.

Таким образом рассчитываются дальностно-угловые $D(\Delta)$ и дистанционноугловые $P(\Delta)$ характеристики H3 для фиксированной частоты f. Минимумы в зависимости $D(\Delta)$ определяют дальности до границ освещенной зоны для каждого из каналов E, F1 и F2. Минимумы в зависимости $P(\Delta)$ соответственно определяют минимальные групповые пути распространения. Расчет $D_{m}(f)$ и $P_{m}(f)$ на сетке частот зондирования позволяет построить ДЧХ сигнала ВНЗ по переднему фронту. Для регулярного радиоканала с плавными продольными градиентами достаточно выбрать высотные разрезы N(h) с шагом по дальности 200–300 км.

На основе алгоритмов вторичной обработки амплитудного рельефа регистрируемого сигнала и расчета ДЧХ сигналов ВНЗ по переднему фронту реализован метод автоматической интерпретации ионограмм ВНЗ [22]. Результаты интерпретации регистрируемых сигналов ВНЗ являются исходными данными для определения МПЧ и ДЧХ односкачкового мода наклонного распространения 1F2 на радиотрассах в секторе зондирования, минуя коррекцию параметров ионосферы [22].

На базе разработанного метода расчета поля сигнала, рассеянного на шероховатостях земной поверхности, был реализован комплексный алгоритм расчета характеристик сигналов ВНЗ, включающий модули расчета глобальной модели ионосферы IRI и условий распространения радиоволн по методу нормальных волн. По результатам моделирования ДЧХ сигналов ВНЗ по переднему фронту проведен анализ экспериментальных данных ВНЗ, полученных в различные сезоны за период 2005-2009 гг. на многофункциональном ЛЧМ-ионозонде ИСЗФ СО РАН [13]. Мощность передатчика составляла ~1 кВт, что позволяло регистрировать рассеянные сигналы в пределах максимальной дальности одного скачка (~3000 4000 км). Основные временные периоды исследований ВНЗ приходились на переходной минимум солнечной активности между 23- и 24-летними шиклами. Геомагнитные условия во время экспериментов характеризовались спокойным состоянием. Были выявлены наиболее характерные типы ионограмм и установлены условия появления того или иного типа в зависимости от времени суток, сезона, направления зондирования, состояния среды.

Основной след сигнала ВНЗ, отраженного от слоя F2, является продолжением ВЧХ мода второй кратности при квазивертикальном распространении сигнала от пункта излучения в пункт приема и начинается с критической частоты слоя F2. На ионограмме кратные сигналы квазивертикального зондирования присутствуют в диапазоне частот 4-7 МГи. Сплошными линиями на рисунке нанесены результаты расчета ДЧХ сигналов ВНЗ по переднему фронту для одно-, двух- и трехскачкового модов распространения 1F2, 2F2 и 3F2 соответственно. Результаты моделирования для односкачкового мода распространения 1F2 позволяют уверенно идентифицировать соответствующие сигналы ВНЗ на ионограмме. Сигналы ВНЗ, соответствующие двухскачковым и трехскачковым модам распространения 2F2 и 3F2, на ионограмме присутствуют, но имеют малую амплитуду, поэтому при вторичной обработке данных они не выделяются. В дальнейшем анализ экспериментальных данных проводится как на основе результатов моделирования, так и автоматической обработки и интерпретации ионограмм ВНЗ.

Методы ВЗ и ВНЗ позволяют определить радиофизические характеристики радиотрасс, но наиболее полной характеристикой радиоканала является передаточная функция как функция частоты.

К характеристикам радиотрассы относятся не только групповые задержки, углы прихода, амплитуда (поглощение), но и дисперсионные искажения сигнала. К дисперсионным искажениям относят обычно расплывание сигнала, вызванное нелинейностью фазы передаточной функции, искажение фазовой структуры (появление дополнительной фазовой модуляции), вызванное отличием модуля передаточной функции от постоянной (наклоном амплитудно-частотной характеристики). В литературе упоминаются также так называемые парные эхо, вызванные осцилляциями фазы или модуля передаточной функции, а также искажения, вызванные более высокими степенями, чем квадратичные, в фазе передаточной функции. Обычно отдельно рассматривают интерференцию нескольких лучей в случае многолучевого радиоканала, но на самом деле это тоже дисперсионное искажение, вызванное наличием в передаточной функции нескольких осциллирующих слагаемых. В реальных каналах большая часть дисперсионных искажений маскируется шумами, поэтому их, как правило, и не рассматривают. Однако при анализе прохождения импульсных сигналов с конечной шириной полосы по заданной трассе все искажения, включая многолучевость и диффузность сигнала, могут быть учтены, если измерить передаточную функцию радиоканала в достаточно широкой полосе частот. Для ионосферного КВ радиоканала такое измерение возможно путем анализа прохождения непрерывного ЛЧМ-сигнала через радиоканал с учетом каналообразующего оборудования, которое, конечно, влияет на полную передаточную функцию. ЛЧМ-сигнал большой длительности с большой девиацией частоты имеет спектр, по модулю близкий к константе в полосе частот от начальной до конечной, и фактически только квадратичной фазой и конечной длительностью по частоте отличается от спектра дельта-функции. Отклик канала на дельта-функцию является импульсным откликом линейной системы, а спектр импульсного отклика - это передаточная функция системы.

Таким образом, если убрать дополнительную фазу из ЛЧМ-сигнала, прошедшего канал, можем получить передаточную функцию радиоканала. Как показано в работе [23], обработка принятого сиг-

нала методом сжатия по частоте при зондировании радиоканала ЛЧМ сигналом дает на промежуточной частоте сигнал, отличающийся от сигнала, совпадающего по форме с передаточной функций, прошедшего фильтр промежуточной частоты, только дополнительной квадратичной фазовой модуляцией. Если пропустить его через корректирующий фильтр, убирающий эту дополнительную фазу и компенсирующий влияние фильтра промежуточной частоты в заданной полосе, на выходе получим временной сигнал, форма которого полностью совпадает с передаточной функцией радиоканала в заданном диапазоне частот:

 $H(\omega) = u(\omega) = u(\omega_0 + \beta t)$. (5) Здесь $H(\omega)$ — передаточная функция канала как функция частоты; $u(\omega_0 + \beta t)$ — сигнал с выхода корректирующего фильтра как функция времени; $\omega_0 + \beta t$ — частота — аргумент передаточной функции; β — скорость изменения частоты зондирующего ЛЧМ-сигнала; t — время от начала зондирующего сигнала.

Для определения формы любого импульсного сигнала из заданного диапазона частот, без ограничения на ширину полосы в этом диапазоне, нужно спектр излученного сигнала умножить на $u(\omega)$, что даст спектр сигнала, прошедшего радиоканал. Обратное преобразование Фурье, примененное к этому спектру, даст прошедший сигнал как функцию времени. Нужно отметить, что в силу специфики обработки ЛЧМ-сигнала методом сжатия по частоте фильтр промежуточной частоты ограничивает диапазон задержек, которые регистрируются данной обработкой. Таким образом, полученная экспериментально передаточная функция радиоканала учитывает только часть импульсной характеристики для заданного интервала задержек, которая определяется шириной полосы фильтра и заданным диапазоном частот, который пробегается ЛЧМ-сигналом.

Рассмотренные методы моделирования характеристик рассеянного шероховатостями земной поверхности зондирующего сигнала позволяет путем анализа наиболее информативных и надежно регистрируемых характеристик сигналов ВНЗ оперативно диагностировать ионосферные параметры в интересах обеспечения устойчивой радиосвязи в КВ диапазоне радиоволн.

Таким образом, предложенные в статье решения позволят наиболее оптимально определять радиопрогностические данные ионосферных каналов по результатам прогнозирования и анализа ионосферы, причем, что особенно важно, в режиме реального времени, определяя при этом максимально применимые частоты (МПЧ), оптимальные рабочие частоты (ОРЧ), наименьшие применимые частоты (НПЧ), оптимальные мощности

излучения, возможные скорости передачи данных, виды модуляции, кодирования и пр.

Решение данных задач радиопрогнозирования в этом диапазоне радиоводн позволит эффективно обеспечить долгосрочный (на месяц, полгода, год и т.д.) расчет МПЧ, НПЧ и ОРЧ на радиотрассах до 10 000 км, оперативный (на 2-3 часа вперед) расчет этих же частот на таких же радиотрассах, провести расчет оптимальной мощности излучения, расчет максимально возможной скорости передачи данных, нахождение наилучших видов модуляции и кодирования в целях своевременной передачи сообщений и нахождение наилучших маршрутов передачи сообщений и тем самым обеспечить устойчивое, непрерывное и оперативное управление в самых сложных условиях обстановки.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Дэвис К*. Радиоволны в ионосфере. М.: Мир, 1973. 502 с.
- Иванов В.А., Куркин В.И., Носов В.Е., Урядов В.П., Шумаев В.В. ЛЧМ-ионозонд и его применение в ионосферных исследованиях //Изв. вузов: Радиофизика. – 2003. – Т.46. – №11. – С. 919–952.
- Филипп Н.Д., Блаунштейн Н.Ш., Ерухимов Л.М. и др. Современные методы исследования динамических процессов в ионосфере. – Кишинев: Штиница, 1991. – 288 с.
- Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова Н.В. Развитие радиофизических методов диагностики ионосферы и каналов КВ-связи с использованием цифровых ЛЧМ-сигналов // Тр. XXIII Всеросс. науч.конфер. «Распространение радиоволн» 23–26 мая 2011 г. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. Т.1. С. 20–30
- Медведев А.В., Брынько И.Г., Ким А.Г., Куркин В.И., Литовкин Г.И., Орлов А.И., Подлесный А.В. Новые возможности цифрового ЛЧ-ионозонда // Тр. XXII Всеросс. науч.конфер.«Распространение радиоволн». – 2008. – Т.1. – С. 37–40.
- 6. Подлесный А.В., Брынько И.Г., Куркин В.И., Березовский В.А., Киселев А.М., Петухов Е.В. Многофункциональный ЛЧМ-ионозонд для мониторинга ионосферы // Гелиогеофизические исследования. 2013. Вып. 4. С. 24—31.
- Патент РФ № 2411540 (РФ) / Куркин В.И., Литовкин Г.И., Медведев А.В., Орлов А.И., Подлесный А.В. Способ обеспечения электромагнитной совместимости однопозиционного ионозонда, 2011.
- Алтынцева В.Н., Брынько И.Г., Галкин И.А. и др. Возвратно-наклонное зондирование ионосферы сигналом с линейной частотной модуляцией // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца: сб. ст. – М.: Наука, 1990. – Вып. 92. – С. 106.
- Пономарчук С.Н., Куркин В.И., Пензин М.С. Исследование особенностей возвратнонаклонного зондирования ионосферы на базе ЛЧМ-ионозонда //Солнечно-земная физика. – 2017. – Т. 3. – № 3. – С.61–69.
- Ponomarchuk S.N, Kurkin V.I., Oinats A.V.
 The Diagnostics of ionosphere and earth ground surface by backscatter sounding data // PIERS(Moscow) 2009. Vol. 1,2, Pro

- ceedings, 2009. P. 1307-1310.
- Пономарчук С.Н., Ильин Н.В., Пензин М.С. Модель распространения радиоволн в диапазоне частот 1–10 МГц на основе метода нормальных волн // Солнечно-земная физика. – 2014. – Вып. 25. – С. 33–39.
- 12. *Bilitza D., Reinisch B.W.* International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters // Adv. Space Res. 2008. Vol.42. P. 599–609.
- Ойнац А.В., Куркин В.И., Нишитани Н., Сайто А. Определение параметров перемещающихся ионосферных возмущений по данным радаров SuperDARN // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2013. – Т. 18. – №8. – С. 30–39.
- Персиков В.М. Приближенный способ расчета характеристик квазимонохроматических импульсных сигналов, отраженных от регулярных неоднородностей в волноводе Земля-ионосфера // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. М.: Наука, 1989. Вып.85. С.186–190.
- Кравцов Ю.А., Кузъкин В.М., Петников В.Г. Приближенный подход к задаче о дифракции волн в многомодовых волноводах с плавно меняющимися параметрами // Изв. вузов: Радиофизика. – 1983. – Т.26. – № 1. – С.440–446.
- 16. Куркин В.И., Орлов И.И., Пономарчук С.Н. Схема расчета характеристик КВ-сигналов, рассеянных локализованными неоднородностями в волноводе Земля—ионосфера //Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. — М: Наука, 1990. — Вып. 92. — С.116—121.
- Куркин В.И., Орлов И.И., Попов В.Н. Метод нормальных волн в проблеме коротковолновой радиосвязи. – М.: Наука, 1981. – 124 с.
- Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. – М.: Мир, 1981. – Т. І. – 280 с.
- Ойнац А.В. Моделирование сигналов ВНЗ на основе метода нормальных волн // Тр. VI сессии молодых ученых «Волновые процессы в проблеме космической погоды». Иркутск: Байкал. международ. молодеж. шк. по фундам. физике (БШФФ–2003). 2003. С. 146–149.
- 20. Куркин В.И., Кутелев К.А., Ойнац А.В., Nishitani N. Перспективы применения радаров SuperDARN для мониторинга динамики ионосферы в России // Физические основы приборостроения. 2012. Т. 1. № 3. С. 3–18.
- Патент на изобретение № 2645913 (РФ)
 Ильин Н.В., Хахинов В.В. Способ измерения передаточной функции радиотехнической линейной стационарной системы. 28.02.2018. Приоритет 8.11.2016. Срок действия 8.11.2036.
- Пономарчук С.Н., Грозов В.П., Котович Г.В., Куркин В.И., Пензин М.С. Диагностика КВрадиоканала по данным возвратно—наклонного зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом // Солнечно земная физика. – 2018. – Т. 4. – № 2. – С. 47–54. DOI: 10.12737/szf-42201804.
- 23. Подлесный А.В., Лебедев В.П., Ильин Н.В., Хахинов В.В. Реализация метода восстановления передаточной функции ионосферного радиоканала по результатам зондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2014. – Т. 19. ■

адводные катера-камикадзе, согласно [2], являются полностью украинской разработкой (УДК) с использованием прогулочные скутеры See-Doo (рис. 1).

Точных данных об УДК в открытой печати нет, но, судя по фото, дрон приводится в движение водометным двигателем. При этом корпус аппарата полностью соответствует дизайну линейки скутеров Sea-Doo, вплоть до лейблов, наклеенных на корпус.

Положение линии реверсора тяги позволяют предположить, что за основу использована достаточно «свежая» модель скутера GTX или Fish Pro.

Общая длина такого дрона достигает 5,5 м, полная масса – порядка 1000 кг, радиус действия – 400 км. В случае прямого наведения дальность применения возрастает до 800 км. При этом автономность плавания составляет 60 часов. Такой УДК способен нести боевую нагрузку до 200 кг на скорости до 43 уз (80 км/ч).

Согласно [2], УДК снабжен тремя системами навигационного оборудования: автоматической GNSS, инерциальной и визуальной. Установленное на дроне видеооборудование обеспечивает передачу до 3 потоков НД-видео, закрытых 256-битовым шифрованием.

Два выступа на носу УДК – это, скорее всего, ударные взрыватели от авиабомб семейства ФАБ-500 еще советской разработки.

Кроме того, на вооружение ВМС Украины планируется принять подводные управляемые дроны-торпеды, получивших название «Толока» (рис. 2). В [3] рассмотрены следующие модификации:

- TLK 1000 длина от 4 до 12 м, боевой заряд - до 5000 кг, дальность хода – до 2000 км;
- TLK 400 длина от 4 до 6 м, боевой заряд – до 500 кг, дальность хода – до 1200 км;
- TLK 150 длина 2,5 м, боевой заряд – 20-50 кг, дальность хода – до 100 км.

Пока интернет-издание «Naval News» документально подтверждает создание TLK 150 с электрическим двигателем [3].

Планируется, что подводные аппараты будут управляться оператором вплоть до района выполнения задания, после чего они перейдут в автономный режим. Общее управление осуществляется по сигналам GPS с использованием инерциальной системы наведения.

Предполагается, что модель TLK 1000 дополнительно получит активную и пассивную системы гидролокации с возможностью идентификации целей посредством 3D-сонара, тепловизионных или видеокамер.

ОБНАРУЖЕНИЕ МОРСКИХ ДРОНОВ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

- Д.В. Васильева, ст. преподаватель ГУАП,
- С.А. Якушенко, д-р техн. наук, доцент ГУАП и ВАС им. С.М. Будённого,
- С.С. Дворников, канд. техн. наук, ГУАП,
- **А.А. Погорелов**, канд. техн. наук, доцент,
- **С.В. Дворников**, д-р техн. наук, проф., ГУАП и ВАС им. С.М. Будённого, контакт. тел. (812) 247 9400



Рис. 1. Надводный дрон-камикадзе



Рис. 2. Дроны-торпеды «Толока»

Управление и наведение TLK 150 на цель осуществляется посредством приборов, расположенных на выдвинутой из воды мачте, которая, оставляя за собой при движении видимый на поверхности воды след, является явным демаскирующим признаком (рис. 3) [4].

Предполагается что дроны-торпеды способны будут находиться в режиме ожидания до трех месяцев.

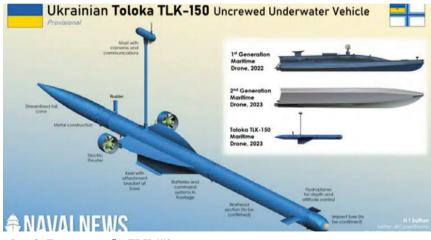


Рис. 3. **Дрон-торпеда ТLК 150**

Проведенный анализ вооружения ВМС Украины позволяет заключить, что наибольшую потенциальную угрозу в настоящий момент представляют надводные дроны-камикадзе. Поэтому в ходе проведенных исследований была оценена возможность их обнаружения.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОСТРОЕНИЮ **АВТОМАТИЧЕСКИХ** ОБНАРУЖИТЕЛЕЙ **ДРОНОВ-КАМИКАДЗЕ** ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Дроны-камикадзе изготавливаются из композитных материалов, поэтому их достаточно сложно обнаружить радиолокационным способом. Поэтому предпочтительным вилится использование оптических обнаружителей. Очевидно, что для рассматриваемой ситуации обнаружение должно осуществляться в автоматическом режиме в оптическом диапазоне с предоставлением информации оператору для окончательного принятия решения.

Поскольку современная оптика обеспечивает достаточное высокое качество изображений как днем, так и ночью, предлагается для распознавания использовать кадры видео- или фотоизображений, получаемые с водной поверхности, с периодичностью каждые пять секунд. Такое заключение сделано по результатам наблюдения посредством бинокля Discovery Breeze 7×50 Marine за объектом размером 6×2 м на дальностях порядка 1 мили (взаимная скорость перемещения – до 40 уз. Указанная периодичность наблюдения обеспечивает однозначное попадание в ракурс объектива не менее 50% поверхности дрона.

В качестве примера на рис. 4, a и bпоказаны ракурс изображения поверхности моря с дроном на дальности 1 мили и без него, полученные в пасмурный день при волнении 1-2 балла.

Представленные изображения были определены как эталонные, на основе которых строились векторы признаков [5]. Изображения для обработки представлялись в виде фото размерами 940×380, объемом 85 кБайт и расширением *.bmp.

В качестве векторов признаков были определены диаграммы распределения значений пикселов изображений в зависимости от 256 оттенков яркости [6].

Тогда задачу непосредственного распознавания наблюдаемого образа на кадре можно свести к процедуре отнесения его к тому альтернативному классу из сформированного признакового пространства, разница с вектором признаков которого будет ми-

$$|R_0 - R_m|_{\{\mathbf{R}_N\}_M} \to \min(D), \qquad (1)$$

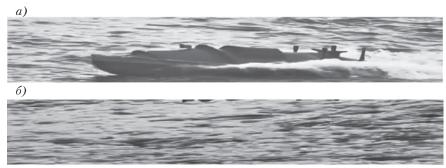


Рис. 4. Фрагмент изображения акватории моря с дроном (а) без него (б)

где $R_{\rm o}$ – вектор признаков распознаваемого образа; $R_{\scriptscriptstyle m}$ – текущий вектора из признакового пространства $\{\mathbf{R}_{_{NM}}\}$; $p_{_{101}}$ – допустимое значение вероятности распознавания образа; p_0 – текущее значение вероятности распознавания образа; D – допустимая величина контрастности между двумя любыми векторами из признакового пространства $\{\mathbf{R}_{_{\mathrm{N}\,\mathrm{M}}}\}$.

В качестве векторов признаков предлагается использовать кадры поверхности моря в различное время суток, при различной погоде и волнении.

В качестве примера на рис. 5 и рис. 6 показаны векторы признаков, полученные из образов рис. 4, *a* и *б*. На рис. 5 – изображение 1, обозначенное как $V_{\iota}(n)$, на рис. 6 – изображение 2, обозначенное как $V_2(n)$, где n – число градаций яркости (n = 256).

Очевидные различия признаков эталонных изображений явились основой для решения задачи обнаружения объекта в автоматическом режиме.

К обнаружению были отобраны различные фрагменты, на которых запечатлены или часть акватории моря без дрона, полученные с других ракурсов, или акватория моря, на которой запечатлены лишь отдельные различные части дрона, расположенные в различных местах изображения. Таким образом была подготовлена база тестовых изображений.

Алгоритм обнаружения был определен с позиций подхода, предложенного в [7], при этом выдвигались две гипотезы: наличия дрона на изображении Н, и его отсутствие Н..

Далее для каждого изображения из подготовленной базы формировался вектор признаков, который сравнивался с каждым из эталонных изображений.

Сравнение проводилось путем вычитания по модулю вектора признаков изображения, взятого из базы $V_{v}(n)$, с векторами признаков эталонов и последующим нормированием результата:

$$R_{1,X} = \frac{1}{256} \sum_{n=0}^{255} |V_1(n) - V_X(n)|, \qquad (2)$$

$$R_{0,X} = \frac{1}{256} \sum_{n=0}^{255} |V_0(n) - V_X(n)|. \qquad (3)$$

$$R_{0,X} = \frac{1}{256} \sum_{n=0}^{255} |V_0(n) - V_X(n)|.$$
 (3)

Решение в пользу одной из выдвинутых гипотез принималось по результатам последующего сравнения полученных разностей R_1 , X и R_0 , X:

$$(R_{0,x} - R_{1,x}) \text{if} \begin{vmatrix} \operatorname{sign}(-) \to H_1; \\ \operatorname{sign}(+) \to H_0; \\ \operatorname{sign}(0) \to \varnothing. \end{vmatrix}$$
 (4)

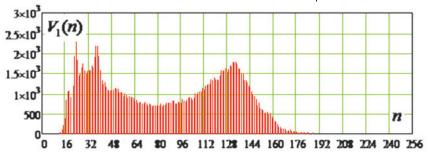


Рис. 5. Вектор признаков изображения 1

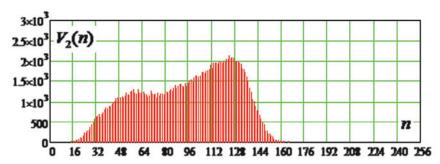


Рис. 6. Вектор признаков изображения 2

Согласно условию (4), при равенстве разностей R_1 , X и R_0 , X решение не принималось.

Всего для базы было подготовлено 200 тестовых изображений, среди которых 20 содержали только различные участки акватории моря без дронов и по 20 изображений, на которых были запечатлены фрагменты частей дрона от 10% до 100% его общего изображения с градацией 10%, полученные с различных ракурсов.

В качестве примера на рис. 7 представлены тестовые фото, на которых запечатлены 10% и 20% общего изображения (размера) дрона с оставляемым им кильватерным следом. На рис. 8 показаны векторы признаков, характеризующие представленные изображения.

Очевидно, что объем изображений, представленных для обнаружения, существенно меньше размеров эталонов. Однако это не сказалось на качестве работы алгоритма обнаружения объекта, поскольку размерность формируемого вектора признаков (256 элементов) сохранилась прежней, т. е. такой, как у векторов эталонных описаний.

Это объясняется тем, что сущность предложенного подхода основана на изменении яркости кадра при попадании в него распознаваемого объекта. При таком подходе для распознавания важно изменение соотношения пикселей на гистограмме, представляющей собой вектор признаков. Поэтому, несмотря на различия размеров векторов $V_z(n)$ и $V_{v}(n)$ по сравнению с эталонными описаниями, алгоритм обнаружения однозначно отнес их в соответствии с условием (4) к вектору признаков $V_1(n)$,



характеризующеих изображение 1 на рис. 4, а.

Различия между векторами признаков $V_1(n)$ и $V_2(n)$, характеризуемые выражениями (1) и (2) для изображения Z, достигли 10,6%, а для изображения Y - 12,3%.

В ходе проведенного эксперимента все 200 изображений были правильно идентифицированы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В составе ВМС Украины имеются дроны-камикадзе с радиусом действия до 400 км (в перспективе – до 2000 км), способные нести до 200 кг взрывчатки. Применение композитных материалов для изготовления таких дронов наделяет их малой радиолокационной заметностью. Поэтому для обнаружения данных объектов предлагается использовать средства оптической разведки. В рамках выполненного исследования был разработан алгоритм автоматического обнаружения дронов-камикадзе, в основу которого положены результаты обработки кадров, поступающих от видеосистемы.

Дальнейшие исследования авторы связывают с повышением контрастности формируемых векторов признаков за счет применения метода, представленного в [8, 9], а также в [10-12].

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Seafox drone. [Электронный ресурс], 21.06.2023. - URL: https://en.wikipedia. org/wiki/Seafox drone. Свободный доступ на 21.06.2023.
- By H I Sutton. Ukraine's Maritime Drones (USV) What You Need To Know. - 2022. -Fri 11 November. – [Электронный ресурс],



Рис. 7. Фото изображений Z и Y, с 10% и 20% частью дрона

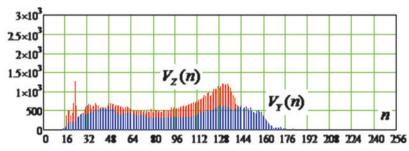


Рис. 8. Векторы признаков изображений Z и Y

- 21.06.2023. URL: http://www.hisutton. com/Ukraine-Maritime-Drones.html. Свобод. доступ на 21.06.2023.
- By H I Sutton. Innovative Submarine Drone Is Ukraine's New Weapon Against Russian//Naval news. - 2023. - 10 May. -[Электронный ресурс], 21.06.2023. -URL: https://www.navalnews. com/naval-news/2023/05/innovativesubmarine-drone-is-ukraines-new-weaponagainst-russian-navy/. Свободный доступ на 21.06.2023.
- Невоенный обозреватель. Украина разрабатывает управляемые дроны-торпелы. – [Электронный ресурс], 21.06.2023. – URL: https://dzen.ru/a/ZErA3GXTX1PMVo3x. Свободный доступ на 21.06.2023.
- Дворников С.В., Сауков А.М. Метод распознавания радиосигналов на основе вейвлет-пакетов//Науч. приборостроение. -2004. - T. 14. - № 1. - C. 85-93. - EDN **HSOOSB**
- Умбиталиев А.А., Дворников С.В., Оков И.Н., Устинов А.А. Способ сжатия графических файлов методами вейвлет-преобразований //Вопросы радиоэлектроники. - Сер.: Техника телевидения. – 2015. – № 3. – С. 100–106. – EDN
- 7. Дворников С. В. Метод обнаружения на основе посимвольного перемножения реализаций спектра наблюдаемого процесса с автоматическим расчетом порога принятия решения//Научное приборостроение. - 2004. - Т. 14. - № 4. - С. 92-97. -EDN HSQPIF.
- Дворников С.В., Железняк В.К., Комарович В. Ф., Храмов Р.Н. Метод обнаружения радиосигналов на основе обработки их частотно-временных распределений плотности энергии //Информация и космос. – 2005. – № 4. – С. 13–16. – EDN KXAITT.
- Патент № 2261476 С1 (РФ) МПК G06К 9/00: Способ распознавания радиосигналов. № 2004102168/09. Заявл. 26.01.2004: опубл. 27.09.2005/Аладинский В. А., Дворников С. В., Сауков А. М., Симонов А. Н.; заявитель Военный университет связи. - EDN RUFMDR.
- 10. Дворников С.В., Сауков А.М. Модификация частотно-временных описаний нестационарных процессов на основе показательных и степенных функций//Науч. приборостроение. – 2004. – Т. 14. – № 3. – C. 76-85. - EDN HSQPCL.
- 11. Дворников, С.В. Метод обнаружения на основе посимвольного перемножения реализаций спектра наблюдаемого процесса с автоматическим расчетом порога принятия решения//Науч.приборостроение. – 2004. – Т. 14. – № 4. – С. 92–97. – EDN HSQPIF.
- 12. Дворников С. В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений энергии нестационарных процессов в частотно-временном пространстве (обзор)//Тр. учеб. заведений связи. -2018. – T. 4. – № 1. – C. 47–60. – EDN YUZUOE.

ВВЕДЕНИЕ

орабельная ядерная энергетичес-кая установка (ЯЭУ), в состав которой входят паропроизводительная установка (ППУ), паротурбинная установка (ПТУ), вспомогательные энергетические установки (ВЭУ) и обеспечивающие их работу системы, является системообразующей и определяет тактические, тактико-технические и эксплуатационные характеристики корабля [1]. На кораблях с электродвижением в составе ВЭУ предусматриваются электроэнергетическая система (ЭЭС) и гребная электрическая установка (ГрЭУ). Объектами управления и контроля (ОУК) являются клапаны, задвижки, насосы, системы, другие автоматизированные и неавтоматизированные технические средства (ТС), которые входят в состав корабельной ЯЭУ. Технические средства управления содержат математическое, программное, информационное и другие виды обеспечения.

Корабельные установки подразделяются на автоматизированные, дистанционного и автоматического управления, в которых, как правило, задачи управления, реализуемые с участием оператора или без его участия, не оговариваются. Доля автоматического управления уточняется в технических заданиях на создание средств автоматизации и зависит:

- от количества и состава автоматически управляемых приводов, механизмов, клапанов и других исполнительных органов (ИО);
- от объемов информации, поступающей от датчиков цифровых и аналоговых, сигнализаторов и других средств контроля состояния объектов управления.

Автоматизация управления корабельной ЯЭУ может быть представлена в виде иерархической структуры, в которой:

- на нижнем уровне содержатся автоматизированные ОУК;
- на среднем уровне располагаются системы управления технологическими процессами, к которым могут быть отнесены автоматический ввод и вывод оборудования из действия, управление частотой вращения турбин, регулирование давления пара в трубопроводах, уровня воды в конденсаторах, температуры энергоносителей и других параметров ЯЭУ;
- на верхнем уровне решаются задачи управления системами и установками, в том числе ЯЭУ в целом, в настоящее время — операторами.

Предпосылками для автоматизации решения задач верхнего уровня управления являются: иерархическая организация управления корабельной ЯЭУ несколькими операторами, необходимость

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОРАБЕЛЬНЫМИ ЯЭУ

С.Н. Сурин, канд. техн. наук, зам. ген. директора — директор по спецтематике и автоматизации ЯЭУ, **Б.В. Грек,** д-р техн. наук, гл. конструктор КСУ, AO «Концерн «НПО «Аврора», контакт. тел. (812) 702 5971

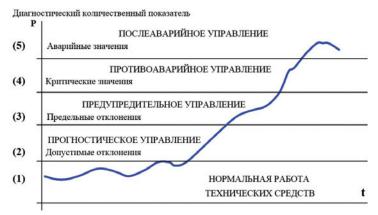


Рис. 1. Виды управления техническими средствами

обработки значительных объемов информации в условиях меняющихся режимов работы и отказов TC, а также требования обеспечения безопасной эксплуатации TC при возрастающей стоимости пребывания личного состава на борту корабля.

ПОНЯТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

«Интеллект (лат. – познание, понимание, рассудок) – способность мышления, рационального познания. Термин «интеллект» представляет собой перевод древнегреческого понятия «ум» и тождественен ему» [2, с. 311]. «Искусственный интеллект рассматривается как раздел информатики, в котором разрабатываются методы и средства компьютерного решения интеллектуальных задач, традиционно решаемых человеком» [3, с. 733].

Под «интеллектуализацией» предлагается понимать способность системы управления (СУ) выполнять функции, свойственные оператору за пультом управления ТС. Интеллектуальное управление ЯЭУ относится к верхнему уровню управления, на котором возможна организация диалогового режима, поддерживаемого системой визуализации процессов управления и контроля, реализуется при наличии автоматически управляемых ОУК и автоматизации технологических процессов управления ППУ, ПТУ и ВЭУ с обеспечивающими их работу системами и оборудованием.

В существующих стандартах предусматриваются различные виды управления, которые, как показано на рис. 1, разнесены во времени по изме-

нению значений некоторого обобщенного (диагностического) количественного показателя Р, контроль изменения значений которого предусматривается в системе визуализации состояния корабельной ЯЭУ.

Прогностическое управление предполагает учет при принятии решений результатов прогнозирования развития текущей обстановки и диагностирования элементов системы.

Предупредительное управление осуществляется по сигналам отклонения параметров от их номинальных значений и предназначено для предотвращения аварийной ситуации.

Противоаварийное (предаварийное) управление производится по аварийным сигналам выхода из строя ТС, оборудования корабля или аварийного отклонения технологических параметров от критических значений с целью ликвидации аварийной ситуации.

Послеаварийное управление предназначено для ликвидации уже наступивших отрицательных последствий произошедшей аварии и недопущения развития и углубления аварийной ситуации.

Реализация диалогового режима предполагает наличие времени на принятие и исполнение решений до перехода ЯЭУ в состояние «авария», в котором применяется «противоаварийное управление». Поэтому интеллектуальное управление относится к предупредительному и прогностическому виду, а также нормальной работе ТС в различных условиях эксплуатации. Например, при переходе главной энергетической установки с одного режима работы на другой.

Особо следует отметить состояние «авария», для которого управляющие воздействия определяются заранее, согласуются с заказчиком и выдаются в объекты управления автоматически, без участия оператора вне зависимости от интеллектуального управления. Выбор состава контролируемых сигналов, по которым проводятся распознавание состояния «авария», разработка алгоритмов противоаварийного управления и реализация функций защиты являются самостоятельными задачами управления корабельной ЯЭУ.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО **УПРАВЛЕНИЯ**

Математические основы интеллектуального управления включают:

- формализацию описания ОУК и процессов управления,
- техническую диагностику в части оперативного управления и прогнозирования изменения технического состояния ОУК.

На рис. 2 показано, что в пространстве состояний S обобщенный количественный показатель Р рассматривается как некоторая функция на множестве переменных, обозначающая допустимые области поведения ОУК, в которых могут быть выделены:

- точка A состояние S_A со значением показателя $P_{\scriptscriptstyle A}$, которое называют начальным;
- точка В состояние $S_{_{B}}$ со значением показателя $P_{\rm B}$, которое называют конечным;
- траектории $L(S_A, S_B)$ перемещения ОУК из начального состояния в конечное состояние.

При известном начальном состоянии ОУК в современной теории управления выделяют две задачи, а именно определение:

- конечного состояния;
- траектории перевода ОУК из начального в назначенное конечное состояние, которую называют задачей Лагранжа [4].

Постановка этих задач, в свою очередь, зависит от требований, предъявляемых к показателю Р, которые математически записываются в двух фор-

- пригодности, используя ограничения типа «равенство» и/или «неравенство»:
- оптимизации с обеспечением min или max, в общем случае extr, значения некоторого количественного показателя Р.

В форме «пригодности» состояние $S_{_{B}}$ может од.. пустимых $\tilde{P}_{_{S}}$: $S_{_{B}} = \underset{P_{_{S}} \in \tilde{P}_{_{S}}}{\arg} P_{_{S}}(S).$ S_в может быть любым из области до-

$$S_B = \underset{P_- \in \tilde{P}_-}{\text{arg}} P_S(S)$$

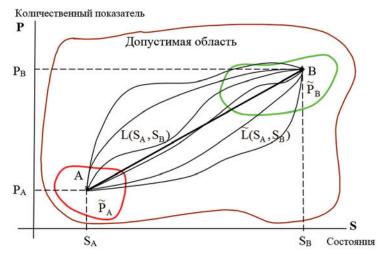


Рис. 2. Математическая постановка задачи управления

Траектория $L(S_A, S_B)$ также может быть любой из области допустимых \dot{P}_{1} : $L(S_A,S_B) = arg P_L(L).$ $P_{I} \in \tilde{P}_{I}$

В форме «оптимизации» состояние \hat{S}_{B} и траектория $\hat{L}(S_{A},S_{B})$ являются аргументами, доставляющими экстремальные значения показателям $P_{_{\rm R}}$ и $P_{_{\rm I}}$, принадлежащие, соответственно, допус-

тимым областям
$$\tilde{P}_{S}$$
 и \tilde{P}_{L} :
$$\hat{S}_{B} = \underset{S}{\operatorname{arg extr}} P_{S}(S) \text{ и}$$

$$P_{S} \in \tilde{P}_{S}$$

$$\hat{L}(S_{A}, S_{B}) = \underset{L}{\operatorname{arg extr}} P_{L}(L).$$

$$P_{L} \in \tilde{P}_{L}$$

Рассмотренные формы записи конечного состояния и траектории перевода ОУК из начального в конечное состояние являются постановочными для задач интеллектуального управления.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Выбор математического аппарата решения задач интеллектуального управления связан с заданием функции. Основными способами задания функции управления являются табличная, аналитическая и алгоритмическая.

Табличное задание функции применяется, если отсутствуют математические зависимости между входами и выходами, выходные сигналы сопоставляются комбинациям входных сигналов, что ведет к высокой размерности решаемой задачи. Так, при двух двоичных переменных количество вариантов решения задачи равно 4: $N = 2^1 \cdot 2^1 = 4$. Для 12 элементов и 6 входах при их двоичном представлении получают более миллиона вариантов решений: $N = 2^{12} \cdot 2^6 =$ = 8192.2128 = 1048576. Одним из методов решения задач с табличным заданием функции управления является метод «готовых решений».

Принципиально важным при табличном задании функции является полный перебор комбинаций входных сигналов, который обеспечивает заранее согласованную реакцию ОУК. Попытки выделить наиболее часто встречающиеся комбинации входных сигналов для сокращения полного перебора ведут к алгоритмической ненадежности разрабатываемой автоматики.

Аналитический способ задания функции является идеальным, так как требуемое управляющее воздействие формируется всегда при любых значениях переменных входа и состояний ОУК.

Алгоритмический способ задания функции обеспечивается «конструктивной» математикой, которая гарантирует получение результата после завершения преобразований определяемой функции F(x, y) по итеративной или рекуррентной схеме вычислений.

Итеративная схема вычислений:

Рекуррентная схема вычислений:

$$\begin{cases} F(x,0) = a(x); \\ F(x,1) = b(x,0,F(x,0)); \\ \dots \\ F(x,S_y) = b(x,y,F(x,y)). \end{cases}$$

В схемах вычислений x и y – параметры, F(x, y) — определяемые функции, S_{x} – функция следования, a(x) и b(x, y)- переменные, ранее определенные функции (числа).

Исходя из изложенного, под интеллектуальным управлением понимается решение следующих двух задач:

- выдача оператору решения из состава ранее подготовленных для типовых условий эксплуатации ЯЭУ – определение конечного состояния (точка В на рис. 2), задача решается методом «готовых решений», решение подтверждается или корректируется оператором по текущей ситуации;
- автоматическое исполнение согла-

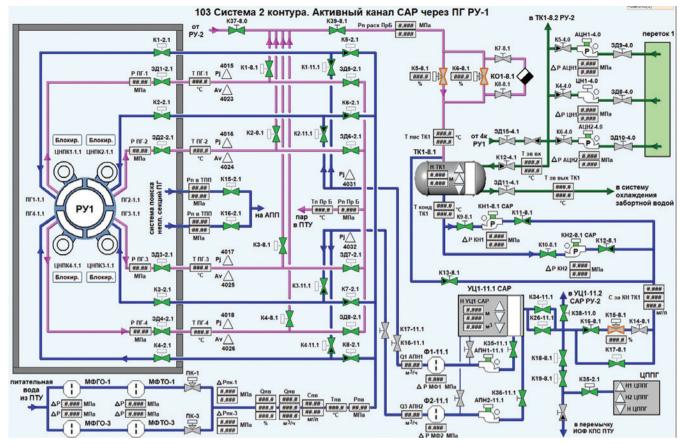


Рис. 3. Система 2-го контура реакторной установки

сованного решения — формирование траектории перехода ЯЭУ из точки А в точку В, как показано на рис. 2, и управляющих воздействий без участия оператора.

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛНЕНИЯ РЕШЕНИЯ

Задача определения траектории перехода ОУК из точки А в точку В является центральной в интеллектуальных системах управления корабельными ЯЭУ.

Исходные данные: начальное $S_{\rm A}$ и конечное состояние $S_{\rm B}$. Состояние $S_{\rm B}$ — одно из заранее подготовленных типовых решений, вызываемых, корректируемых и согласуемых оператором в текущей ситуации.

Необходимо выбрать траекторию $L(S_A, S_B)$ и последовательность управляющих воздействий U_i по перемещению ОУК из состояния S_A в состояние S_B .

Решение сформулированной задачи базируется на представлении траектории $L(S_A, S_B)$ в виде последовательности состояний: S_A , S_{A-1} ,..., S_{i-1} , S_i ,..., S_{B-1} , S_B , которые являются преобразованиями исходного состояния S_A в конечное S_B . Каждое следующее состояние S_i на i-м шаге получают от предыдущего S_{i-1} путем применения управляющего воздействия U_i . Вектор управления U(L) получают как разность между конечным S_B и начальным S_A состояниями. Для двоичных векторов состояния S_B и управления S_B и управляния S_B и управления S_B и управления

ющих воздействий равно значению модуля вектора управления: $N = |U(L)| = |S_A \oplus S_B|$, где « \oplus » — сложение по модулю 2 двух двоичных векторов. Управляющее воздействие на каждом шаге траектории $L(S_A, S_B)$ меняет состояние одного (нескольких) ОУК.

Контроль исполнения команд позволяет выявлять скрытые отказы TC.

Правила выбора управляющих воздействий из состава вектора U(L) на траектории $L(S_A, S_B)$ сформулированы в обеспечение выполнения требований назначения ОУК и функционирования управляемых ППУ, ПТУ и ВЭУ, а также обеспечения отказоустойчивости ЯЭУ [1].

Решением задачи Лагранжа для корабельной ЯЭУ являются вектор управления U(L) и управляющие воздействия U_{i} , которые на каждом i-м шаге преобразует состояние S_{i} , в состояние S_{i} .

ПРИМЕРЫ УПРАВЛЯЕМЫХ УСТАНОВОК И СИСТЕМ ЯЭУ

В качестве примера управления ППУ для одного из заказов с ЯЭУ на рис. З представлена система 2-го контура реакторной установки РУ1.

Всего парогенераторов (ПГ) в составе РУ – четыре, всего РУ на заказе – две (РУ1 и РУ2), которые могут работать в режимах раздельного или совместного управления ППУ и ПТУ. Управляющими воздействиями для каждой РУ являются изменения положения штоков

питательных клапанов ПК1 и ПК2, которые устанавливают величину расхода питательной воды. Задающими воздействиями при раздельном управлении являются:

- маневрирование мощностью РУ по командам с пульта управления (ПУ);
- экстренное увеличение мощности РУ;
- снижение мощности РУ до заданного уровня;
- ограничение мощности РУ на уровнях 5, 10, ..., 85% $Q_{\rm {\scriptscriptstyle HOM}}$ по сигналам от системы более высокого уровня.

Эти режимы являются типовыми, заранее подготавливаются, размещаются в базе данных и при необходимости вызываются оператором на экран монитора ПУ. Каждое решение содержит значения:

- положения штоков питательных и других клапанов, задвижек;
- частоты вращения насосов;
- уставок регуляторов различного назначения;
- коэффициентов законов регулирования;
- состояния других исполнительных органов, приводов и механизмов.

Ограничением является заданная скорость изменения производительности РУ при изменении нагрузки в ПТУ с целью удержания давления и температуры пара в требуемых пределах. При дисбалансах между количеством пара, вырабатываемом ППУ и потребляемом ПТУ, применяют сброс излишков

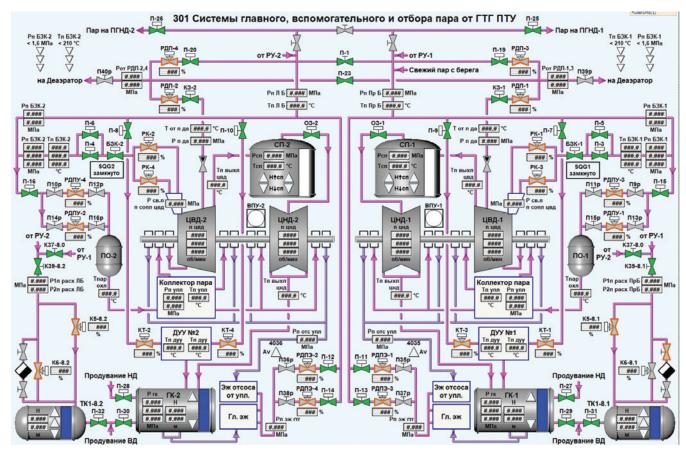


Рис. 4. Системы главного, вспомогательного пара и отбора пара от ГТГ

пара на главный конденсатор (ГК) через дроссельно-увлажнительное устройство (ДУУ) и ограничивают скорость нарастания мощности турбины для предотвращения недопустимого снижения давления пара при увеличении нагрузки.

Одним из примеров интеллектуального управления является переход ППУ, работающей на уровне $20\%~Q_{\scriptscriptstyle {\rm HOM}}$, на уровень мощности РУ в $33\%~Q_{\scriptscriptstyle {\rm HOM}}$.

Начальное состояние $\tilde{S}_{\Lambda}^{\text{пом}}$ – стационарный режим, загрузка $\text{PV}-20\%~Q_{\text{ном}}$. Положение штоков ПК, задвижек, частоты вращения насосов, других ИО и состояния OУК 2-го контура PУ обеспечивают значение мощности $20\%Q_{\text{пом}}$ PУ.

Внешнее воздействие — задается новый уровень мощности РУ — 33% $Q_{_{\rm HOM}}$.

Решение первой задачи интеллектуального управления выполняется оператором, который вызывает на экран монитора из базы данных конечное состояние $S_{\rm B}$, обеспечивающее загрузку РУ в 33% $Q_{\rm ном}$. По необходимости корректирует это состояние, используя систему визуализации, меняет конечные значения положения штоков ПК, уставок регуляторов, коэффициентов регулирования и других ИО.

Решение второй задачи выполняется по команде оператора в автоматическом режиме: вычисляется вектор управления, определяется количество управляющих воздействий и проводится их последовательное (параллельное для некоторых ОУК) при-

менение в соответствии с требованиями, предъявляемыми к функционированию ППУ и ее траектории перемещения в пространстве состояний.

В результате ППУ переходит в новый стационарный режим – 33% $Q_{_{\rm HOM}}$.

Общее количество исполнительных органов, приводов и механизмов ППУ, только представленных на рисунке, определяющих объем управления, более 60.

В качестве примера управления ПТУ на рис. 4 представлены системы главного, вспомогательного и отбора пара от главных турбогенераторов (ГТГ).

Главные ТГ обозначены линиями вала с турбинами высокого давления (ВД) и низкого давления (НД), пар к турбинам НД подается через сепараторы пара (СП). Отбор пара на ГК осуществляется через ДУУ.

Объектов управления, только представленных на рис. 4, более 80, что свидетельствует о высокой размерности решаемой задачи.

Представленные системы, снабженные регуляторами, являются основными потребителями пара и предназначены для решения функциональных задач ПТУ. Так, регуляторы ГТГ обеспечивают автоматическое поддержание постоянной частоту вращения роторов турбины, а также автоматическое травление пара на ГК. Регулирующая арматура с электромеханическими приводами обес-

печивает требуемые значения:

- давления пара в магистралях, деаэраторах, в уплотнениях паровых турбин;
- уровня конденсата в ГК, в деаэраторах и других аккумуляторах массы воды;
- температуры пресной воды в контурах охлаждения, забортной воды на выходе ледяных ящиков (ЛЯ) и т.п.

Начальным состоянием $S_{\rm A}$ является стационарный режим работы. Оператор по задающему воздействию выбирает конечное состояние $S_{\rm B}$ из базы данных и корректирует при необходимости это состояние

Внешним задающим воздействием является изменение режимов работы основного оборудования, например, ГТГ, следствием чего является изменение мощности РУ путем изменения расхода питательной воды в ППУ.

Управляющие воздействия формируются аналогично управлению ППУ.

Решением первой задачи является определение конечного состояния $S_{\scriptscriptstyle \mathrm{D}}$.

Решение второй задачи происходит в автоматическом режиме: изменяются положения штоков клапанов, уставок регуляторов, значения коэффициентов регулирования, состояния других исполнительных органов. Формирование управляющих воздействий производится последовательно (параллельно для отдельных ОУК), в соответс-

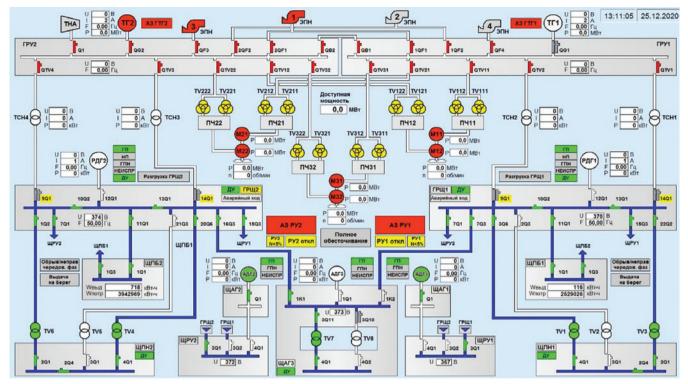


Рис. 5. Структурная схема ЭЭС с ГрЭУ

твии с требованиями, предъявляемыми к функционированию ПТУ по назначению и траектории ее перемещения в пространстве состояний.

В результате ПТУ переходит в новый стационарный режим работы с состоянием ИО, поддерживающих заданный режим работы.

В качестве примера управления ВЭУ на рис. 5 представлена структурная схема ЭЭС с ГрЭУ, в составе которой:

- ГТГ1 и ГТГ2, которые подключены на главные распределительные устройства (ГРУ1 и ГРУ2), от которых получают питание гребные электрические двигатели (ГЭД) – по две электрические машины (М) на каждую линию вала;
- две электростанции (ГРЩ1 и ГРЩ2) с резервными дизель-генераторами (РДГ1 и РДГ2) и потребителями электрической энергии, в том числе щитами питания ЩПН1 и ЩПН2;
- три генераторных щита (ЩАГ1, ЩАГ2 и ЩАГ3) с аварийными дизель- генераторами (АДГ1, АДГ2 и АДГ3) и потребителями электрической энергии, в том числе щитами ЩРУ1 и ЩРУ2 питания реакторных установок.

Всего объектов управления, которые представлены на рис. 5, более 60.

Начальным состоянием S_{Λ} является стационарный режим работы, в котором определено состояние источников электроэнергии, автоматических выключателей (АВ) и работающих потребителей, электрическая нагрузка меняется в пределах резерва мощности работающих

генераторных агрегатов.

Внешним воздействием, например, является задание новой скорости хода заказа — увеличение/снижение нагрузки на ГЭД, которое ведет к изменению нагрузки на ГТГ и, соответственно, мощности РУ путем изменения расхода питательной воды.

Управляющие воздействия формируются аналогично управлению ППУ и ПТУ.

Конечное состояние $S_{\rm B}$ оператор выбирает из базы данных, при необходимости корректирует это состояние.

Траектория перехода ЭЭС с ГрЭУ из начального в конечное состояние формируется в автоматическом режиме: состояния источников электрической энергии и АВ приводятся в соответствие с назначенным состоянием S_в. Последовательность выполнения операций по управлению ЭЭС и ГрЭУ методически повторяется: последовательное, для некоторых ОУК — параллельное, формирование управляющих воздействий производится в соответствии с требованиями, предъявляемыми к функционированию ЭЭС и ГрЭУ по назначению и их перемещению в пространстве состояний.

В результате ЭЭС и ГрЭУ переходят в новый стационарный режим, который характеризуется составом назначенного в работу оборудования, источников электрической энергии, включенных АВ и потребителей электрической энергии.

выводы

1. Одним из направлений создания интеллектуальных систем управления корабельными ЯЭУ является примене-

ние диалоговых режимов, которые относятся к верхнему уровню управления, поддерживаются системой визуализации и контроля, обеспечиваются автоматическими ОУК и автоматизированными технологическими процессами.

- 2. Содержанием интеллектуального управления являются формирование решения по использованию ЯЭУ из состава заранее подготовленных и подтверждаемых оператором по текущей обстановке и автоматическая выдача управляющих воздействий по переводу ОУК из начального в конечное состояние.
- 3. Интеллектуальное управление реализуется в режимах прогностического и предупредительного управления, по командам изменения режимов работы и данным от систем диагностики ЯЭУ в целях предупреждения перехода в режим «авария» и вступления в действие «противоаварийного управления».
- 4. Применение интеллектуальных систем управления позволяет снизить нагрузку на операторов СУ и сократить количество ошибок, совершаемых операторами корабельных ЯЭУ в условиях повседневной эксплуатации, отказов ТС и назначенных режимах использования.

ЛИТЕРАТУРА

- Дядик А.Н., Сурин С.Н. Энергетика атомных судов. СПб.: Судостроение, 2014. – 477 с.
- 2. БСЭ, т.10. М.: Советская энциклопедия, 1972.
- 3. БРЭ, т.11. М.: Науч.изд-во «БРЭ», 2008.
- Ту Ю. Современная теория управления/ Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1971. – 472 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

зучение направлений развития современных комплексных технических систем, таких как беспилотный катер (БК), позволило выделить несколько их ключевых характеристик. Среди них следует отметить многофункциональность и непредсказуемость поведения системы, иерархическую структуру, сходство по структуре и избыточность основных элементов и подсистем, а также взаимосвязь между ними. Важно подчеркнуть разнообразие функций управления на различных уровнях сложной технической системы. В существующих и разрабатываемых сложных технических системах обычно информация о функциональном состоянии передается в систему мониторинга и диагностики в виде текущих значений измерительной информации.

Резкое увеличение сложности мониторинга состояния технических средств управления БК требует существенного расширения количества контролируемых параметров. Ошибочные выводы, вызванные неправильной оценкой состояний управляющих технических устройств, могут иметь серьезные последствия, такие как сбои в выполнении задач, отказы, различные аварии. Эта проблема становится особенно острой в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, когда поведение системы отклоняется от ожидаемого изза разнообразных внешних и внутренних факторов. В существующей практике мониторинга и диагностики отсутствует методика оценки состояния сложных технических средств управления, которая позволила бы создать единый методологический подход к разработке унифицированного набора программно-алгоритмических инструментов для обработки и анализа измерительных данных.

Такой подход также способствовал бы формированию архитектуры интеллектуальной системы мониторинга и диагностики состояния средств управления, адаптированной к конкретным условиям применения с использованием моделей, которые устойчивы к изменяющимся процессам [1]. Это связано с тем, что вопросы, связанные с созданием системы моделей, адекватных контролируемым процессам и явлениям, и ориентированные на методы представления и обработки знаний, до сих пор остаются нерешенными. Все это мешает достижению приемлемых показателей работы системы мониторинга и диагностики, что, в конечном итоге, затрудняет успешное управление.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ БК

Одной из ключевых особенностей технических средств управления БК заключается в возможности изменения их

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗЭКИПАЖНЫМ КАТЕРОМ

К.В. Лапшин, ст. преподаватель базовой кафедры АО «Концери «Гранит-Электрон» в ГУАП, контакт. тел. +7 (921) 865 2685

параметров и структуры на разных этапах жизненного цикла. На практике это означает, что структура системы постоянно подвергается изменениям. В таких условиях для поддержания или увеличения работоспособности и функциональных возможностей средств управления БК требуется активное управление реконфигурацией их структуры. Под управлением структурной динамикой понимают процессы, связанные с определением и реализацией управляющих мероприятий, которые обеспечивают переход системы из текущего состояния в желаемое структурное состояние [2].

Среди существующих вариантов управления структурной динамикой технических средств управления БК можно выделить:

- изменение способов, целей функционирования технических средств управления БК, их содержания, последовательности выполнения в различных условиях;
- перемещение в пространстве отдельных элементов и подсистем технических средств управления БК;
- перераспределение и децентрализация функций, задач, алгоритмов управления, информационных потоков между уровнями системы управления БК;
- использование гибких (сокращенных) технологий управления БК;
- реконфигурация структуры технических средств управления БК.

Решение проблемы управления структурной динамикой технических средств предполагает выполнение следующих задач:

- анализ структурной динамики;
- оценивание (наблюдения) структурных состояний и структурной динамики:
- синтез оптимальных технологий и программ управления структурной динамикой в различных условиях обстановки (в том числе синтез технологий мониторинга и диагностики состояний технических средств управления БК).

Содержательно задачи управления структурной динамикой относятся к категории задач, связанных с созданием и развитием структуры системы управления для боевых комплексов. Решение

этих задач осложняется изменением состава и структуры технических средств управления БК на разных этапах их эксплуатации из-за различных факторов.

Кроме того, процессы управления структурной динамикой часто осуществляются в условиях ограниченной доступности информации и временных ограничений. Эти ограничения связаны с неполнотой, неопределенностью, неточностью и противоречивостью исходных данных и информации, поступающей в процессе работы системы управления БК.

Для эффективного выполнения задач, возложенных на технические средства управления БК, необходимо, чтобы эти системы были способны к управлению и диагностике. Они должны иметь возможность изменять свою структуру, состояния, параметры и способы функционирования в различных тактических ситуациях, а также способность контролировать и оценивать динамику этих изменений. Эти изменения осуществляются с помощью управляющих воздействий, которые формируются в рамках соответствующих систем управления. Эти системы представляют собой совокупность функционально связанных объектов управления и управляющих подсистем, систем связи, систем автоматизации управления, а также специальных систем мониторинга и диагностики. В качестве основных функций управления, которые реализуются в системе управления БК (в управляющей подсистеме), выделим:

- определение целей и курса действий;
- планирование (перспективного, долгосрочного, оперативного);
- оперативное управление, включающее функции физической реализации управляющих воздействий (выработки плана), функции учета и контроля состояния объекта управления и управляющей подсистемы;
- мониторинг и анализ состояния, включающий функцию его диагностирования;
- координация.

В зависимости от того, на какие элементы объекта управления оказывается управляющее воздействие, можно рассматривать три вида управления и соответствующие им три контура управ-

ления: контур параметрического управления (соответственно параметрическое управление); контур координатного управления (координатное управление); контур структурного управления (структурное управление).

Помимо управляющих воздействий, которые применяются в системах управления БК, следует учитывать и разнообразные возмущения, которые могут воздействовать на систему. Воздействия этого типа имеют различное происхождение и могут проявляться по-разному. Они могут оказать негативное влияние на работоспособность средств управления БК, вплоть до полной потери функциональности.

НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА

Появление нетрадиционных логик связано с созданием гибридных экспертных систем [3]. Знания в таких системах представляются продукциями, имеющими вил

«если
$$A_1$$
 и A_2 и ... и A_n , то B », где A_i (i = 1, n) — условия, B — выполняемое действие.

Чтобы показать экспертный характер таких продукций, в них добавляется «фактор определенности», подчеркивающий степень неопределенности данного условия и заключения.

Нечеткая логика применяется для построения моделей систем интеллектуальной обработки информации. Главное отличие и преимущество аппарата нечетких множеств заключается в том, что он позволяет формально определить различные неточные и многозначные понятия, становясь более реалистичной схемой рассуждений, чем традиционная логика.

Одно из значимых преимуществ применения данной теории в системах управления состоит в снижении трудоемкости описания системы за счет применения совокупности правил, сформулированных на естественном языке [5].

Нечетким множеством A в некотором непустом пространстве $U(A \subseteq U)$ называется множество пар

$$A = \{(u, \mu_A(u)), u \in U\},$$
 где $\mu_A(u): U \to U[0, 1]$ — функция принадлежности нечеткого множества A .

Эта функция приписывает каждому элементу $u \in U$ степень его принадлежности к нечеткому множеству A, при этом можно выделить три случая принадлежности элемента u к нечеткому множеству A:

- 1) $\mu_{A}(u) = 1$ полная принадлежность $(u \in A)$;
- 2) $\mu_A(u) = 0$ отсутствие принадлежности, то есть ($u \notin A$);
- 3) $0 < \mu_A(u) < 1$ частичная принадлежность.

При этом носителем нечеткого множества A называется множество таких точек в U, для которых величина $\mu_A(u)$ положительна

Существует также понятие множеств уровня нечеткого подмножества универсального множества. Множеством α -уровня нечеткого множества A является множество (в обычном смысле) A всех таких элементов универсального множества U, степень принадлежности которых нечеткому множеству A больше или равна α :

$$A_{\alpha} = \{u | \mu_{A}(u) \ge \langle \}.$$

Нечеткое множество *А* можно разложить на нечеткие подмножества с функцией принадлежности, принимающей значения 0 или 1 следующим образом:

$$A = \int\limits_0^\alpha a A_\alpha = \sum_\alpha \alpha A_\alpha,$$
 где αA_α – произведение числа α на множество A_α ; $\int\limits_0^\infty (*)$, $\sum_\alpha (*)$ – знаки объединения множеств A_α по α от 0 до 1 .

Существует много экспертных систем, которые опираются на факторы определенности. Будущие подходы к созданию гибридных экспертных систем будут основываться на применении нетрадиционных методов логического анализа для обработки информации, которая неоднозначна, противоречива, является неточной и нечеткой. Эти методы наиболее полезны для систем управления сложными техническими объектами, где такая информация является стандартной.

СТРУКТУРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Рассмотрим контур структурного управления. в котором реализуются следующие функции (рис. 1):

 функция технического диагностирования (ФТД), включающая следующие операции: определение состояния технических средств управления БК, поиск места изменения состояния, оценка глубины (объема) изменения состояния объекта диагностирования;

- функция реконфигурации структуры системы мониторинга и диагностики, включает в себя следующие операции: оценка состояния технических средств управления БК по данным ФТД, поиск вариантов допустимой структуры средств управления БК, выбор лучшего варианта, изменение связей и режимов функционирования элементов управления БК, контроль с помощью ФТД результатов воздействия на структуру управления БК;
- функция аварийной защиты, включает операции: оценка по данным ФТД типа отказа в объекте, в случае аварийного отказа локализация области его влияния на работоспособные элементы системы, перевод средств управления БК в одно из работоспособных состояний или в отказ;
- функция управления резервами, включает операции: выявление по данным ФТД нарушений работоспособности элементов системы управления БК, включение резервных элементов, контроль результатов замены элементов;
- функция технического обслуживания и функция ремонта, включают операции выявления с помощью ФТД объема и содержания восстановительных работ, режима функционирования управления БК, период технического обслуживания и ремонта, проведение технического обслуживания и ремонта, контроль качества работ.

Управление и мониторинг средств управления БК характеризуются процессами, имеющими многоуровневую организацию. Эти процессы включают в себя последовательное принятие решений, которые осуществляются как автоматически, так и с участием лиц, принимающих решения [6].

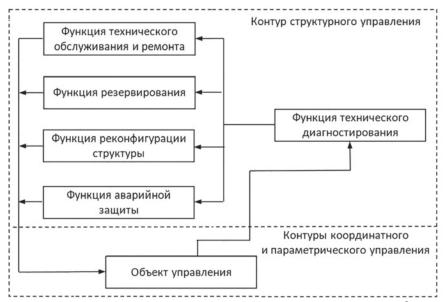


Рис. 1. Типовая функциональная структура контуров управляющих подсистем, входящих в состав технических средств управления БК

Общий процесс мониторинга и диагностики технических средств управления БК имеет циклический характер и четко выраженную иерархическую структуру, что проиллюстрировано на рис. 2. Эта структура может быть представлена двумя уровнями: первый уровень соответствует циклу формирования решения (обоснование и принятие решения); второй уровень соответствует циклу создания вариантов решений (подготовка, генерация и анализ альтернатив).



Рис. 2. Обобщенная схема мониторинга и диагностики технических средств управления БК

Сложность и противоречивость обстановки, в которой приходится решать задачи управления структурной динамикой в реальном времени, требуют существенного усиления интеллектуальной поддержки процессов принятия решений соответствующих средств управления, создания интеллектуальных систем управления гибридной экспертной системы, использование которой позволяет значительно повысить оперативность и обоснованность принимаемых решений [7]

Могут быть реализованы следующие варианты управления, мониторинга и диагностики структурной динамикой технического состояния средств управления БК:

- изменение способов и целей функционирования технических средств управления БК, их содержания, последовательности выполнения;
- перераспределение функций, задач и

- алгоритмов управления между уровнями системы управления БК;
- управление резервами системы управления БК;
- реконфигурация структур технических средств управления БК;
- контроль изменения, диагностика структур технических средств управления БК;
- перемещение в пространстве отдельных элементов и подсистем системы управления БК.

В процессе функционирования системы управления БК:

- могут появиться новые объекты обслуживания;
- могут изменяться ранее поставленные цели, операции, сроки и условия их выполнения:
- из-за воздействий внешней среды может нарушаться плановая работа системы управления БК, изменяться расход ресурсов.

Для обеспечения эффективного функционирования системы управления БК в данных условиях необходимо разрабатывать гибкие методы применения для каждого компонента и всей системы управления техническими средствами БК. Эти методы позволят оперативно перераспределять цели, функции и алгоритмы между компонентами, подсистемами и уровнями технического состояния системы управления БК в зависимости от текущей ситуации [8].

При реализации гибкого способа применения средств управления БК перед каждым из них на различных интервалах времени может быть поставлена одна (либо несколько) из следующих задач:

- прием информации, поступающей от объекта обслуживания (ОБО), других объектов средств управления БК;
- передача информации на ОБО, элементы системы управления БК;
- хранение полученной информации;
- обработка полученной информации;
- формирование управляющих воздействий;
- планирование и управление системой объектов в ходе подготовки и проведения взаимодействия с ОБО с другими объектами.

Следует подчеркнуть, что при перераспределении задач между объектами вместе с оценкой и анализом целевой эффективности системы управления БК необходимо каждый раз согласовывать выбранные способы применения элементов с целевыми возможностями системы управления БК. Указанная особенность организации процессов интеллектуального управления элементами системы управления БК связана с тем, что каждому способу применения элемента должны соответствовать своя структура и свои варианты организации

информационных потоков в технологическом контуре диагностики и контроля состояния средств управления БК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спецификой систем мониторинга и диагностики технического состояния средств управления БК является крайняя сложность получения и обработки диагностической информации в процессе эксплуатации. Выходом из этого положения является интеллектуализация процесса диагностики путем включения в технологический контур диагностики и контроля состояния средств управления БК гибридной экспертной системы. Мониторинг в масштабе реального времени – это то направление, где использование интеллектуальных технологий обеспечивает высокую эффективность решения указанной проблемы.

Создание методологии построения интеллектуальных систем мониторинга и диагностики технических средств управления БК, а также разработка алгоритмов поиска неисправностей, основанных на принципах обработки знаний, позволяет эффективно решать задачу мониторинга и диагностики технических средств управления БК.

ЛИТЕРАТУРА

- Васильевский А.С., Лапшин К.В. Вариационный метод синтеза облика интеллектуальной системы управления сложного динамического объекта // Наука и технологии: мат-лы XXXV Всерос. конф., посвященной 70-летию Победы, г. Миасс, 16–18 июня 2015 г. – Т. 4. – С. 76–79.
- 2. *Юсупов Р.М.* Элементы теории испытаний и контроля технических систем.— М.: Энергия, 1977. 189 с.
- Thayse A. & al. Approche Logique de l'Intelligence Artificielle. – T. 1: De la logiqueclassique à la programmationlogique. – Paris: Dunod,1988.
- Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I //Information science. – 1975. – № 8. – P. 199–249.
- Васильев А.Е. Автоматизированные информационно-управляющие системы. Встраиваемые интеллектуальные системы нечеткого управления: учеб. пособие.

 – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009.

 104 с.
- Добановский С.А., Озерянный Н.А. Системы автоматического управления с реконфигурацией //Измерение, контроль, автоматизация. 1990. №4(76). С. 62–80.
- 7. *Пархоменко П.П., Согомонин Е.С.* Основы технической диагностики. М.: Энергия, 1981. 320 с.
- 8. Никольцев В.А., Лапшин К.В., Ямщиков Ю.А. Методология организации контроля и оценки состояния технических средств управления безэкипажным катером // Науч.-техн. сб. ФНПЦ АО «Концерн «Гранит-Электрон» «Корабельные и бортовые многоканальные информационно-управляющие системы». 2019. Вып. №31. С. 157–167. ■

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О СТАНДАРТЕ МЕТОДОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ IDEF0

Постоянное усложнение технических систем и необходимость их анализа с целью совершенствования функционирования и повышения эффективности обусловливают обязательность применения специальных средств описания и анализа таких систем. Эта задача приобретает актуальность в связи с появлением интегрированных компьютеризированных производств и автоматизированных процессов проектирования.

В США это обстоятельство было осознано еще в конце 70-х гг. XX в., когда военно-воздушные силы США предложили и реализовали Программу интегрированной компьютеризации производства ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing), направленную на повышение эффективности промышленных предприятий посредством широкого внедрения компьютерных (информационных) технологий.

Реализация программы ІСАМ потребовала создания адекватных методов анализа и проектирования производственных систем и способов обмена информацией между специалистами, занимающимися такими проблемами. Для удовлетворения этой потребности в рамках программы ІСАМ была разработана методология IDEF (ICAM Definition), позволяющая исследовать структуру, параметры и характеристики производственно-технических и организационно-экономических систем. Общая методология IDEF состоит из частных методологий моделирования, основанных на графическом представлении систем. Так, например, методология *IDEF0* используется для создания функциональной модели, отображающей структуру и функции системы, а также потоки информации и материальных объектов, связывающие эти функции.

Основу подхода и, как следствие, методологии *IDEF0* составляет графический язык описания (моделирования) системы. В Российской Федерации описание стандарта методологии функционального моделирования *IDEF0* представлено в Рекомендациях по стандартизации «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования» РД IDEF0–2000, введенных в действие в 2001 г.

Методология *IDEF0* нашла широкое признание и применение благодаря простой графической нотации, используемой для построения модели.

АНАЛИЗ СТРУКТУРНОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ЯЭУ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНДАРТА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ IDEF0

А.А. Горбачев, инженер-конструктор 1-й категории, А.А. Иванов, инженер-конструктор 1-й категории, Е.В. Сальников, гл. конструктор специализации, АО «СПМБМ «Малахит», контакт. тел. (812) 242 1505, +7 911 838 2087

Главными компонентами модели являются диаграммы. Они отображают функции системы в виде прямоугольников, а также связи между ними и внешней средой посредством стрелок. Каждый прямоугольник является частной функцией, которую должен будет выполнять будущий элемент системы. Использование всего лишь двух графических примитивов (прямоугольник и стрелка) позволяют быстро объяснить правила и принципы построения диаграмм *IDEFO* людям, незнакомым с данной методологией.

ДИАГРАММЫ IDEFO

Поскольку *IDEF0* есть методология функционального моделирования, имя блока, описывающее функцию, выражается глаголом или глагольным оборотом; например, имя блока «Выполнить проверку», означает, что блок с таким именем превращает непроверенные детали в проверенные. После присваивания блоку имени к соответствующим его сторонам присоединяются входные, выходные и управляющие стрелки, а также стрелки механизма, что и определяет наглядность и выразительность изображения блока *IDEF0*.

Каждая сторона функционального блока имеет стандартное значение с точки зрения связи блок/стрелки. В свою очередь, сторона блока, к которой присоединена стрелка, однозначно определяет ее роль. Стрелки, входящие в левую сторону блока – входы. Входы преобразуются или расходуются функцией, чтобы создать то, что появится на ее выходе, т.е. целевая функция элемента системы. Стрелки, входящие в блок сверху – управления. Управления определяют условия, необходимые функции, чтобы произвести правильный выход. Стрелки, покидающие блок справа – выходы, т.е. данные или материальные объекты, произведенные функцией.

Стрелки, подключенные к нижней стороне блока, представляют механизмы или энергию, необходимую для выполнения функции. Данные стрелки идентифицируют средства, поддерживающие выполнение функции. Другие средства могут наследоваться из родительского блока. Стрелки механизма, направленные вниз, - это стрелки вызова. Они обозначают обращение из данной модели или из данной части модели к блоку, входящему в состав другой модели или другой части модели, обеспечивая их связь, т.е. разные модели или разные части одной и той же модели могут совместно использовать один и тот же элемент (блок).

Стандартное расположение стрелок показано на рис. 1.



Рис. 1. Расположение стрелок

IDEF0-модели состоят из трех типов документов: графических диаграмм, текста и глоссария. Эти документы имеют перекрестные ссылки.

Графическая диаграмма — главный компонент *IDEF0*-модели, содержащий блоки, стрелки, соединения блоков и стрелок и ассоциированные с ними отношения. Блоки представляют основные функции моделируемого объекта. Эти функции могут быть разбиты (декомпозированы) на составные части и представлены в виде более подробных диаграмм, а процесс декомпозиции может продолжаться до тех пор, пока объект не будет описан на уровне детализации, необходимой для достижения целей конкретного проекта. Диаграмма верхнего уровня обеспечивает наиболее общее или

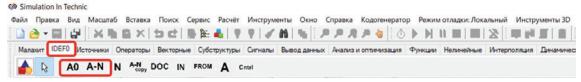


Рис. 2. Библиотека IDEF0

абстрактное описание объекта моделирования. За этой диаграммой следует серия дочерних диаграмм, дающих более детальное представление об объекте.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ IDEFO

Преимущества IDEF0

Наглядность. При анализе диаграммы сразу же приходит понимание, как работает та или иная система, где в этой системе «тонкие места» и каким образом те или иные решения помогут избавиться от них.

Взаимопонимание и отсутствие разночтений. При обсуждении работы системы с использованием функциональной модели в виде диаграммы имеются наглядные и понятные интучтивно блоки задач с управляющими элементами.

Кроме того, функциональное моделирование предполагает создание в случае необходимости глоссария, в котором раскрываются условные обозначения и термины. В результате заказчик и исполнитель говорят «на одном языке» и видят систему до ее фактического появления.

Простота и высокая скорость создания модели. Схема — это сверхплотная подача информации, что очень хорошо для понимания, но для реализации такой подачи требуется особый подход. В результате будет получен инструмент, который поможет разработчику проанализировать, что же происходит в той или иной системе и подсистеме, и при помощи созданного в сжатые сроки наглядного пособия проиллюстрировать важные моменты коллегам или заказчикам.

Среди недостатков методологии *IDEF0* стоит отметить то, что в ней рассматриваются только логические отношения между работами, временная последовательность не учитывается.

РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ ДЛЯ САПР ПО «SIMINTECH»

На основании требований методологии функционального моделирования *IDEF0* в АО «СПМБМ «Малахит» разработаны два типовых блока для библиотеки САПР: А0 и А-N. Эти блоки представляют собой субмодели САПР. Разработанная библиотека в среде ПО «SimInTech» представлена на рис. 2.

Данная библиотека планируется к применению для моделирования сложных корабельных систем в процессе их проектирования. В связи с этим в основу типовых блоков библиотеки заложены дополнительные свойства:

- свойство № 1 семантическое описание каждого блока для автоматического формирования пояснительной записки в форме информационных срезов с общепроектными данными по элементам системы;
- свойство № 2 применение в составе модели логической связи между входными и выходными портами для анализа структурно-функциональной целостности системы. Она анализируется за счет логико-математических связей портов внутри блока в рамках всей модели системы, т. е. на уровне потока «0» и «1». Формирование обобщенных «0» и «1» происходит на выходных портах с применением логического блока «И».

ПРОРАБОТКА ПРИМЕНЕНИЯ МЕТО-ДОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ IDEF0 ДЛЯ РЕШЕНИЯ КОНКРЕТНЫХ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ ЗАДАЧ

В качестве апробации работоспособности предложенной библиотеки по стандарту *IDEFO* была разработана упрощенная функциональная схема транспортной ядерной энергетической установки с жидкометаллическим теплоносителем (ЯЭУ с ЖМТ).

Функциональная модель ЯЭУ с ЖМТ состоит из четырех уровней. Первый уровень представляет собой родительский блок А0 (рис. 3).

В состав следующего уровня A1 входят блоки, моделирующие основные самостоятельные изделия в составе ЯЭУ: ППУ, ПТУ, СУ, ЭЭС, и их функциональные связи. Схема уровня A1 представлена на рис. 4.

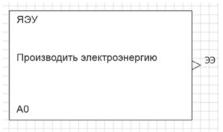


Рис. 3. Уровень A0. Верхний уровень функциональной схемы ЯЭУ

ППУ предназначена для производства пара и передачи тепла от РУ в ПТУ. В ПТУ осуществляется преобразование тепловой энергии пара в электрическую энергию, которая в свою очередь направляется в ЭЭС. Электрическая энергия из ЭЭС распределяется между ППУ, ПТУ и СУ. СУ в свою очередь осуществляет управление всеми входящими в состав схемы ЯЭУ элементами, а также контроль за их состоянием.

На рис. 4 указаны функциональные блоки и связывающие их математические связи. Справа от блоков расположены кнопки управления состоянием функциональных блоков, с помощью которых в реальном времени можно задавать состояние того или иного элемента и контролировать влияние выхода из строя данного элемента на другие элементы и работоспособность системы в целом. При этом активные связи между блоками выделены сиреневым цветом, а отключенные — черным.

Представленные блоки уровня A1 имеют в своем составе блоки следующего уровня A2, которые можно рассмотреть на примере блока, моделирующего ППУ. Данный уровень схемы представлен на рис. 5.

На приведенном примере в состав ППУ входят система первого и второго контуров.

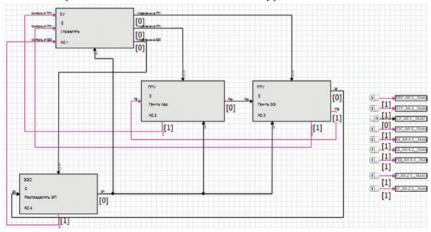


Рис. 4. Уровень А1. Состав ЯЭУ с ЖМТ



Рис. 5. Уровень А2. Состав ППУ

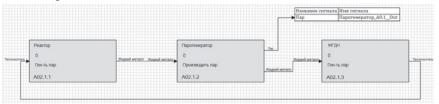


Рис. 6. Уровень АЗ. Состав системы первого контура

Первый контур представляет собой замкнутую систему, в которой происходит выработка тепловой энергии и передача ее циркулирующему теплоносителю, который посредством парогенератора передает энергию рабочей среде второго контура в целях превращения в пар. Пар в системах второго контура в дальнейшем направляется в ПТУ для выработки электроэнергии, что представлено на рисунке выходным сигналом.

На рис. 6 представлено основное оборудование, входящее в состав системы первого контура

Первый контур состоит из реактора, парогенератора и магнитогидродинамического насоса (МГДН). Реактор предназначен для выработки первичной энергии и в нем же происходит ее передача теплоносителю, который далее направляется в парогенератор. Парогенератор предназначен для передачи тепловой энергии от теплоносителя первого контура к рабочей среде второго контура. При этом теплоноситель первого контура после охлаждения в парогенераторе посредством МГДН снова направляется в реактор для нагрева до номинальных параметров. Выход среды из парогенератора реализован двумя функциональными связями. Первая связь означает пар, выработанный в парогенераторе и далее направляющийся во второй контур и в ПТУ. Произведенный пар реализован в виде выходного сигнала. Вторая связь идентифицирует охлажденный теплоноситель первого контура, который далее направляется к насосу МГДН.

АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ СИСТЕМЫ

При разработке структуры ЯЭУ с ЖМТ с использованием разработанной библиотеки функциональных блоков для САПР ПО «SimInTech» по стандарту IDEF0 пользователь анализирует структурно-функциональную целостность системы.

При сборе системы управления ЭУ имеется панель с переключателями со-

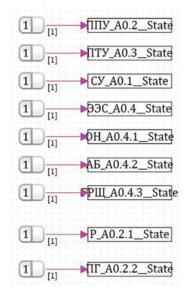


Рис. 7. **Панель переключения состояния систем**

стояния всех составных частей системы (рис. 7).

При значении «1» все системы «включены» и работают в исправном режиме.

На рис. 8 видно, что в квадратных скобках у входных и выходных параметров стоит значение «1». Таким образом, от системы управления поступают сигнал на ППУ и ПТУ и, значит, происходит генерация электроэнергии.

В случае если на панели переключения состояний изменить значение какой-либо составной части с «1» на «0», например отключить систему управления, то система в автоматическом режиме изменит свое состояние (рис. 9).

В данном случае команд от систем управления не поступает, от ППУ не поступает пар на ПТУ и, следовательно, выработки электроэнергии не происходит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа стандарта функционального моделирования IDEF0 выполнена разработка полноценной библиотеки в САПР ПО «SimInTech». Разработаны правила применения и функционирования типовых блоков библиотеки, которая позволяет проверять устойчивость работы системы при отключении элементов с глубиной моделирования до функциональной единицы и работоспособность смоделированной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. РД IDEF0–2000. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. – Издание офиц. – Введ. 2000–07–01. – М.: Госстандарт России, 2000. – 75 с. ■

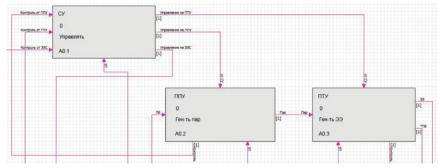


Рис. 8. Работа ЭУ в исходном состоянии

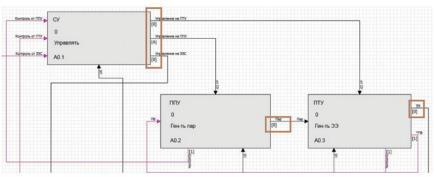


Рис. 9. Работа ЭУ с отключенной системой управления

современной промышленности роль автоматизации неоспорима. Ключевым элементом в рамках развития Индустрии 4.0 [1] является внедрение киберфизических систем в производственные процессы посредством использования роботов-манипуляторов. Эти устройства, обладая коллаборативными свойствами, предоставляют возможность совместной работы с человеком.

В данной статье рассматриваются процесс разработки и создания электрического манипуляторного устройства (МУ) с семью степенями свободы, расчет кинематики робота с использованием программного пакета Motion Analysis, а также проектирование системы управления с использованием промышленного протокола EtherCAT. Статья предоставляет собой обзор областей применения и перспектив развития данной технологии.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ РОБОТА В ЦИФРОВОМ ДВОЙНИКЕ

Разработка манипулятора начинается с кинематического анализа, который является неотъемлемым аспектом проектирования робототехнических комплексов. Прямая задача кинематики (ПЗК) позволяет определить пространственные координаты захвата при перерасчете углов поворота и длин каждого звена робота.

В одной из предыдущих статей мы подробно рассмотрели подход к решению ПЗК методом Денавита—Хартенберга [2]. Данный метод весьма эффективен, когда необходимо составить пространственную карту зон досягаемости манипулятора. Однако он может оказаться недостаточно наглядным при визуализации подвижности звеньев в реальном времени. Решить эту проблему позволяет использование цифрового двойника (ЦД), который представля-

ИСКУССТВО РОБОТОТЕХНИКИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ МАНИПУЛЯТОРАМИ

П.К. Смирнов, ст. инженер, аспирант СПбПУ Петра Великого, **Д.Н. Мосичкин,** программист, Опытно-экспериментальный инженерно-технический центр АО «МНС», студент ГУАП,

В.В. Потехин, канд. техн. наук, доцент СПбПУ Петра Великого,

Е.И. Карасева, канд. экон. наук, доцент ГУАП,

контакт. тел. (812) 320 3840

ет собой виртуальную копию реального физического устройства. Средства автоматизированного проектирования (САПР), такие как SolidWorks, предоставляют возможность воспроизводить ЦД (рис. 1) и проводить анализ подвижности объекта исследования в специализированных программных пакетах, таких как Motion Analysis.

КОММУТАЦИОННЫЙ ПРОТОКОЛ ETHERCAT

Применение современного промышленного протокола EtherCAT обеспечивает высокоскоростную передачу данных и точную синхронизацию между устройствами. Данный стандарт промышленной сети реализует технологии распределенного управления [3] в режиме реального времени, поддерживая произвольную конфигурацию сетевой топологии.

В проекте разработки и создания электрического МУ обмен информацией между исполнительными механизмами (приводами МУ) был организован по топологии «шина», что позволило значительно облегчить коммутационную схему подключения за счет оптимизации кабель-менеджмента (рис. 2). В результате этого суставы МУ приобрели возможность совершать практически неограниченное количество непрерывных оборотов.



Рис. 2. **Процесс монтажа и тести- рования МУ**

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТА

Электрическое МУ – эффективное средство автоматизации как промышленных рутинных процессов (таких, как сборка, сварка, сортировка, упаковка, лазерная резка и пр.), так и решения сложных и специальных задач в тех условиях, когда участие человека невозможно или





Рис. 1. Цифровая (слева) и реальная (справа) модели МУ

 $^{^1}$ См. статью «Расчет глубоководного гидравлического манипулятора МГМ-7. Часть 1». - «Морской вестник», 2021, № 4(80).

ограничено. К последним можно отнести работу в зонах радиационного заражения, процесс дистанционного разминирования, а также выполнение подводнотехнических работ (ПТР) на различных глубинах. Стоит отметить, что выполнение ПТР требует обеспечения хорошей изоляции исполнительных механизмов и коррозионной защиты корпуса МУ. Использование электрических МУ зачастую может оказаться эффективнее, чем гидравлических благодаря:

- энергоэффективности. По сравнению с гидравлическими электрические МУ могут быть эффективнее, с точки зрения потребления энергии за счет отсутствия необходимости использовать гидростанцию и блок управления гидравликой. Это оказывается критически важным аспектом при длительной автономной работе;
- высокой точности. Электрические системы обычно обеспечивают более высокую точность управления и позиционирования, что важно, например, при выполнении точных монтажных операций под водой или при проведении деликатных научных исследований;
- большой гибкости. Явным преимуществом электрических МУ является простота интеграции с бортовым электронным оборудованием. Их легче адаптировать и программировать для решения различных задач за счет их универсальности и гибкости;
- меньшему уровню шума. Электрические системы значительно более тихие, чем гидравлические аналоги, что может оказаться важным при проведении специальных работ;
- экологической безопасности. Гидравлические системы требуют использования масел, что повышает риск загрязнения окружающей среды в случае разгерметизации.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

При создании системы управления (СУ) для МУ на первом этапе необходимо тщательно спроектировать все составные части системы. Иначе говоря, определить, как основные элементы СУ взаимодействуют друг с другом, их логическую и программную последовательности. В настоящее время СУ создаются для управления конкретным МУ (или их семейством) без возможности их использования с различными устройствами отображения движения (ОД) и, как правило, со встроенными способами задания движения (ЗД) без возможности расширения, например, использования копирующей руки или цифрового двойника (ЦД).

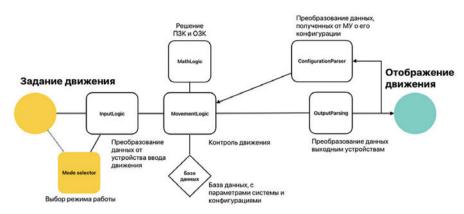


Рис. 3. Общая схема СУ

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В проектируемой СУ планируется подключение нескольких различных устройств ЗД, таких как копирующая рука, джойстики, ЦД. Также необходимо придать системе возможность задавать движение с помощью подключения к ней по сетям (CanOpen, Ethercat, TCP/ IP). Нужно сделать возможным, чтобы СУ выводила результат на различные виды манипуляторов (в том числе различающиеся по типам двигателей - гидравлические и электрические), транслировать параметры движения в сети, отображать данные о движении в виде GUI². У каждого из перечисленных способов задания/отображения движения есть свои особенности, свои дополнительные возможности. Важно, чтобы СУ эффективно с ними работала, предоставляя полноценный логический доступ к каждому из устройств. Для реализации этой идеи необходимо тщательно подойти к проектированию, проработать процесс взаимодействия ПМ между собой.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ

Чтобы СУ поддерживала различные устройства ЗД и ОД, предлагается использовать следующие программные модули (ПМ): задание движения, центральная часть, отображение движения. Предлагаемая организация СУ показана на рис. З. Например, к системе подключается копирующая рука (как устройство ЗД) и МУ (как устройство ОД).

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ СУ

Центральная часть СУ получает в стандартизированном виде данные от устройств ЗД и данные о требуемом режиме работы СУ. Затем она выполняет математическую и логическую обработку данных. Конвертирует полученные данные в новый формат и передает их части СУ, которая отвечает за отображение движения. Таким образом, задача центральной части сводится к преоб-

разованию данных из одного формата в другой.

В составе этой части выделяется математический ПМ, который реализует решение прямой и обратной задачи кинематики (ПЗК и ОЗК); база данных, в которой СУ хранит данные о подключенных устройствах, текущее состояние и настройки оператора, а также модули, отвечающие за обработку входной и выходной информации.

ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ УСТРОЙСТВ ЗАДАНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Программный модуль ЗД разрабатывается для каждого устройства отдельно. Его главная задача — это преобразовать действия оператора СУ в информационные сигналы и передать их в стандартизированном формате в центральную часть.

Интерфейс ввода данных движения должен обладать одновременно как конкретностью, так и гибкостью. Для этого предлагается использовать формат JSON³, в котором будет закодирована информация о следующих параметрах СУ:

- о режиме входных данных (показывает, какими кинематическими характеристиками управляет устройство ЗД: траекторией, скоростью или магнитным моментом);
- конечную координату, в которой должен оказаться захват манипулятора;
- траекторию прохода манипулятора;
- угол поворота каждого звена.

Модуль 3Д движения с копирующей руки может выглядеть, как показано на рис. 4.

ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ОД

ПМ ОД получает данные в стандартизированном формате от центральной части и преобразует их в движение МУ ЦД. Интерфейс ОД получает данные от устройства ОД к центральной части, а именно:

- степени свободы;
- количество звеньев;
- длины каждого звена;
- предельные углы поворота;

² GUI – Graphical User Interface (с англ. графический интерфейс пользователя).

³ JSON – JavaScript Object Notation (с англ. текстовый формат обмена данными, основанный на JavaScript).

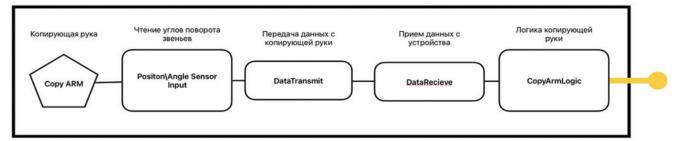


Рис. 4. ПМ ЗД с копирующей руки

- запрещенные координаты;
- запрещенные углы;
- режим управления (через скорость, через углы);
- дополнительные сведения:
 - нагрузку;
 - предельные скорости вращения;
 - магнитные моменты обмотки статора.

Также ПМ ОД выдает данные от центральной части СУ к устройствам ОД:

- углы поворота каждого сустава;
- скорость движения;
- магнитный момент (для электрических манипуляторов);
- давление (для гидравлических манипуляторов).

Работа модуля начинается с точки входа, которая сообщает СУ данные о количестве степеней свободы, длину звеньев, начальном положении приводов. Этот же блок впоследствии получает данные от СУ, передавая их в ActuatorArrayController, который поз-

воляет задавать кинематические параметры для каждого из суставов. В свою очередь этот модуль обращается к нижестоящим модулям для передачи информации по сети Ethercat к самим сервоприводам. Реализация модуля ОД движения для электрического манипулятора показана на рис. 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье мы раскрыли процесс разработки и создания электрического робота-манипулятора с упором на проектирование программных частей системы управления. Этот проект представляет собой замечательный пример инновационной робототехники, которая находит широкое применение в различных областях промышленности и научных исследований.

Предложенная в статье структура СУ для манипуляторов упрощает работу, повышает надежность и масштабируемость ПО за счет прозрачной и после-

довательной компоновки элементов, а также позволяет писать математические и логические операции единожды для любой компоновки, подключать различные устройства ЗД и ОД без необходимости переписывать центральную часть.

ЛИТЕРАТУРА

- Ингеманссон А.Р. Актуальность внедрения концепции «Индустрия 4.0» в современное машиностроительное производство // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2016. Т.1. № 7. С. 45–48.
- Раевская Л.Т., Швец А.В., Дахиев Ф.Ф., Анкудинов Д.Т. Расчет кинематических характеристик манипулятора при неизменном угле между стрелой и рукоятью // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2.
- 3. *Петров И. В.* Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы программирования: учебник для вузов / Под ред. проф. Дьяконова. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 256 с. ■

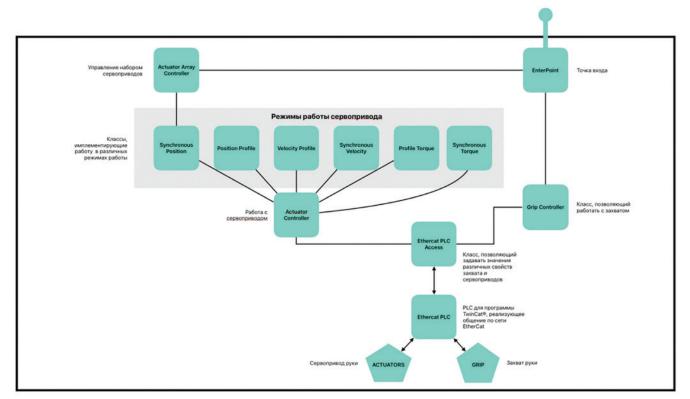


Рис. 5. ПМ ОД на электрическое МП

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

митаторы радиолокационных сигналов традиционно востребованы и применяются на этапах проектирования, испытания, сертификации радиолокационных систем и обучения операторов. В каждом из этих случаев требования, предъявляемые к имитации сигналов очевидно могут быть раз-

личными. В условиях, когда имитация основана на математическом моделировании физических процессов, основной проблемой построения моделей является обоснование степени необходимых упрощений, объем которых все же позволяет выполнять требования назначения имитатора. При этом разработчик зачастую стремится предложить такие математические модели и имитатор на их основе, которые были бы применимы к возможно более широкому кругу задач.

Примером такого случая является разработка имитатора радиолокационных сигналов, который применим и при тестировании навигационных радиолокационных станций (НРЛС) по стандарту IEC 62388, и при обучении судоводителей согласно Кодексу по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты (Кодексу ПДНВ). Схематичное изображение этой задачи представлено на рис. 1.

Сформулированная цель легла в основу разработки имитатора, определила допустимую степень упрощения моделируемых физических процессов и сложность математических моделей. В качестве метода выполнения работы принят классический подход к моделированию, включающий:

- содержательное описание процесса функционирования НРЛС с принятыми для моделирования ограничениями и формулировкой общих требований к модели;
- разработку концептуальной модели, включающей допущения и математические соотношения, описывающие физические процессы на основе этих допущений.

Ниже излагаются отдельные выдержки из этой работы, достаточные, однако, для представления в целом о подходе и математических моделях радиолокационных сигналов, отвечающих целям моделирования.

ТРЕБОВАНИЯ К ИМИТАТОРУ

Стандарт IEC 62388 (Annex F, clause F.4) [1] определяет следующие требования к имитаторам сигналов НРЛС, используемым для тестирования судовых радаров:

- 1) пеленг: последовательность ТТЛ импульсов, 4096 импульсов за период обзора;
- 2) отметка курса: один ТТЛ импульс за период обзора, длительность $5-10~{\rm mc};$
- 3) синхронизация: импульсы номинальным напряжением 12 В на сопротивлении 75 Ом, длительность каждого 100 200 нс, частота повторения зондирующих сигналов радара;

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИМИТАЦИИ ВИДЕОСИГНАЛОВ НАВИГАЦИОННЫХ РЛС

В.В. Ефимов, канд. техн. наук, доцент, директор по продвижению АО «Ситроникс КТ», контакт. тел. +7 (911) 988 4255, Viktor.Efimov@sitronics-kt.ru

4) видеосигналы: амплитуда ($+5 \pm 0,2$) В относительно 0 В на сопротивлении 75 Ом, уровень шума амплитудой +0,5 В.

Выполнение первых трех пунктов требований стандарта связано синхронизацией обзора и зондирования пространства и не требует разработки сложных математических моделей. Поэтому далее не рассматривается. Из четвертого требования следует, что все многообразие смеси полезных сигналов и помех различной природы, которые формируют суммарный видеосигнал на выходе приемников любых НРЛС, должно быть единообразно представлено видеосигналом на выходе имитатора в диапазоне амплитуд от 0 до $+5\pm0.2$ В, а собственный (тепловой) шум приемников этих НРЛС — видеосигналом в диапазоне от 0 до +0.5 В.

Раздел В-I/12 Кодекса ПДНВ [2] содержит руководство по использованию тренажеров для обучения и дипломирования моряков. В частности, практические занятия по настройке НРЛС должны обеспечить получение знаний:

- о влиянии шумов приемника, ограничивающих возможность отображать слабые эхосигналы, а также о влиянии насыщения экрана шумами приемника;
- о настройке органов управления работой НРЛС и критериях, указывающих на оптимальные положения органов настройки;
- о важности соблюдения надлежащей последовательности при настройке и влияния плохо выставленных органов управления;
- об обнаружении плохой настройки и корректировки настройки органов управления, влияющих на точность и дальность обнаружения целей.

Там же перечисляются факторы, на которые должно быть обращено особое внимание. В их число входят и те, что непосредственно определяют требования к имитатору радиолокационных сигналов в составе тренажера, например:

- влияние технических характеристик на эксплуатационные качества НРЛС;
- регулировка яркости и усиления видеотракта;
- радиолокационный горизонт;
- размер, очертания, ракурс и состав целей;
- влияние движения судна на волнении;
- условия распространения радиоволн;
- метеорологические условия, засветка от моря и дождя;
- регулировка устройства подавления помех;
- теневые секторы;
- помехи от другого радиолокатора.

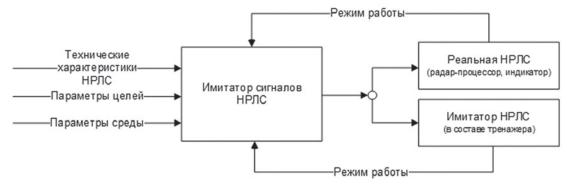


Рис. 1. Имитатор сигналов для тестирования НРЛС и тренажерной подготовки



Рис. 2. Функциональные блоки приёмника НРЛС

m/w УВ $ildе{H}-m$ алошумящий усилитель высокой частоты; Лин. УП $ildе{H}-y$ силитель промежуточной частоты с линейной амплитудной характеристикой; Лог. УП $ildе{H}-y$ силитель промежуточной частоты с логарифмической амплитудной характеристикой; f_c-hecy из частота радиолокационного сигнала на входе приёмника; $f_{np}-n$ промежуточная частота, на которую настроен усилитель промежуточной частоты; $f_{lem}-v$ частота СВv-сигнала, генерируемого гетеродином; v-видеосигнал на выходе приёмника после детектирования

Определяет организацию обучения моряков типовой курс 1.07 Международной морской организации. Radar Navigation at Operational Level [3], который детализирует требования к имитатору НРЛС с точки зрения методики обучения.

Совокупность требований из перечисленных документов и их анализ позволили ограничить разработку математических моделей соотношениями, связывающими технические характеристики, режимы работы НРЛС, параметры радиолокационных целей и параметры окружающей среды с видеосигналом на выходе приемника до его межпериодной и межобзорной обработки в радар-процессоре. Основная идея этого моделирования состоит в реализации двухэтапной процедуры:

1) все многообразие физических процессов формирования, излучения, распространения, и приема радиолокационных сигналов должно быть представлено как можно более простыми соотношениями, позволяющими получать значение мощности сигнала на входе приемника P_c ;

2) мощность сигнала на входе приемника должна быть пересчитана в амплитуду видеосигнала на его выходе $U_{\rm c}$, согласно требованиям стандарта IEC 62388. При этом в качестве такого приемника выбран типичный для НРЛС и наиболее распространенный — супергетеродинный с однократным преобразованием частоты и логарифмической амплитудной характеристикой (рис. 2).

МОДЕЛЬ ШУМОВ ПРИЕМНИКА

Способность приемника принимать слабые сигналы, т.е. его предельная чувствительность, ограничена мощностью собственных шумов $P_{\text{III}}[4]$:

$$P_{\text{III}} = k \cdot N_{\text{III}} \cdot T \cdot \Delta f_{\text{rip}}, \tag{1}$$

где $k=1,38\cdot 10^{\cdot 23}$ — постоянная Больцмана Дж/К; T=290 — температура,°К; $N_{_{\rm III}}$ — коэффициент шума приемника; $\Delta f_{_{\rm пp}}$ — ширина полосы пропускания приемника, Γ ц.

Вычислениями по формуле (1) можно получить максимальное значение шума на входе приемника в Ваттах. Однако для того, чтобы удовлетворить требованиям к уровню шума на выходе имитатора, достаточно принять, что для любых технических характеристик НРЛС из выражения (1) максимальная амплитуда шумов остается неизменной $U_{\rm m}=0.5$ В. Тогда случайное значение амплитуды шумовых импульсов видеосигнала может быть получено простой генерацией случайного числа, равномерно распределенного в диапазоне от 0 до 0,5 В.

Собственные шумы — это непрерывный сигнал, присутствующий на выходе приемника всегда, когда он включен. Его можно представить простейшим непрерывным случайным процессом — пуассоновским потоком с интенсивностью, определяемой шириной полосы пропускания приемника $\Delta f_{\rm np}$. Иными словами, $\Delta f_{\rm np}$ в Герцах — это количество шумовых импульсов в секунду [5]. Полоса пропускания приемника опре-

деляется, исходя из ширины спектра зондирующих сигналов, и для современных НРЛС лежит в пределах от 5 до 25 МГц [6].

На основании приведенных соображений математическое моделирование видеосигнала собственных шумов приемника может быть выполнено путем цифровой генерации пуассоновского потока случайных чисел, равномерно распределенных на интервале от 0 до 0,5. Интенсивность потока численно равна ширине полосы пропускания приемника, которая определяется выбранным режимом работы НРЛС, который, в свою очередь, задается оператором путем переключения шкал дальности и выбора длительности зондирующего импульса. В предложенной модели можно использовать, например, приведенные в табл. 1 сочетания длительности, частоты повторения зондирующих импульсов и ширины полосы пропускания приемника в привязке к шкалам дальности [6].

Таблица 1 Технические характеристики НРЛС, задаваемые шкалами дальности

| Шкала | Вариант длительности зондирующих импульсов | | | | | | | |
|--|--|---|---|----------------|---|----|--|--|
| дально- сти <i>D_{шк}</i> , мили | Kop | откие (Sł | nort) | Длинные (Long) | | | | |
| | | Длитель- ность τ _и , мкс | Полоса пропуска- ния $\Delta f_{_{\mathrm{np}}}$, Мгц | повторе- | Длитель- ность τ _и , мкс | | | |
| 0,25 | | | | 2000 | 0,05 | 25 | | |
| 0,5 | 2000 | 0,05 | 25 | 1000 | 0,25 | 15 | | |
| 0,75 | 2000 | | | | | | | |
| 1,5 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 6 | 1000 | 0,25 | 15 | 500 | 1,0 | 5 | | |
| 12 | | | | 300 | 1,0 |) | | |
| 24 | 500 | 1,0 | 5 | | | | | |

В общем случае следует предусмотреть возможность применения иных сочетаний $\tau_{\rm u}$, $F_{\rm u}$ и $\Delta f_{\rm np}$, которые указываются в техническом описании имитируемой НРЛС. Пример генерации случайного потока шумовых видеоимпульсов приведен на рис. 3.



Рис. 3. **Ре**ализация случайного процесса имитации шумов приемника

Необходимость имитации шумов приемника определяется не только тем, что по их наличию можно судить об исправности приемного тракта НРЛС, чему следует обучать судоводителей-операторов. В случае тестирования НРЛС требуется генерировать такой поток шумов приемника, который обеспечивает определенный уровень ложного обнаружения целей. Стандарт IEC 62388, в частности, определяет, что требуемые дальности обнаружения различных целей должны быть достигнуты при фиксированном уровне 10-4 ложного обнаружения по шумам приемника. В случае визуального обнаружения этот уровень рекомендуется устанавливать приблизительно, добиваясь того, чтобы на дисплее отображались легкие и равномерно распределенные по экрану фоновые шумовые выбросы. Если же такая установка вероятности ложного обнаружения неприменима для тестируемого радара, «изготовитель должен предоставить метод для достижения эквивалентной настройки».

Требуемая стандартом вероятность ложного обнаружения означает, что в каждом элементе разрешения НРЛС ложная отметка цели может быть обнаружена с вероятностью не более $P_{\pi 0} = 10^{-4}$. Это требование пересчитывается в допустимое число ложных отметок $N_{\scriptscriptstyle {\rm пo}}$, появляющихся за один круговой цикл обзора пространства, следующим очевидным образом:

$$N_{\text{no}} = P_{\text{no}} \cdot N_{\text{ap}} = P_{\text{no}} \cdot \frac{D_{\text{mix}}}{\delta_{\text{D}}} \cdot \frac{360}{\delta_{\text{T}}}, \tag{2}$$

 $N_{_{70}}=P_{_{70}}\cdot N_{_{3p}}=P_{_{70}}\cdot \frac{D_{_{\rm IIIK}}}{\delta_{_D}}\cdot \frac{360}{\delta_{_{\Pi}}},$ (2) где $N_{_{3p}}-$ число элементов разрешения в одном круговом цикле обзора; $D_{_{\rm IIIK}}-$ шкала дальности, определяющая дального промиция одну обзерки $S_{_{10}}$ нюю границу зоны обзора; $\delta_{\scriptscriptstyle D}$ – разрешающая способность НРЛС по дальности; δ_{Π} – разрешающая способность НРЛС по пеленгу.

Результаты вычислений по формуле (2) представлены в табл. 2 для $P_{_{110}} = 10^{-4}$ и исходных данных, соответствующих таблице 1, при условии, что разрешающая способность по дальности определяется длительностью зондирующего импульса т,, а разрешающая способность по пеленгу – шириной диаграммы направленности антенны (ДНА) в горизонтальной плоскости по уровню половинной мощности $\Theta_{0.5}$.

Допустимое число ложных отметок N_{no} за один обзор $(P_{no}=10^{-4},\,\Theta_{0.5}=1^{\circ})$

| | Вариант длительности зондирующих импульсов | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------------|------------------|----------------|-------------------|-----------------|--|--|
| <i>D</i> _{шк} , мили | Кор | откие (Sh | ort) | Длинные (Long) | | | | |
| | τ_u , MKC | $\delta_{_{D}}$, M | N _{no} | $τ_u$, MKC | $\delta_{_D}$, M | N _{no} | | |
| 0,25 | 0,05 | | 2 | 0,05 | 7,5 | 2 | | |
| 0,5 | | 7.5 | 4 | | 1 | | | |
| 0,75 | | 7,5 | 7 | 0,25 | 37,5 | 1 | | |
| 1,5 | | | 13 | | | 3 | | |
| 3 | 0,25 | | 5 | | | 1 | | |
| 6 | | 37,5 | 37,5 11 4.0 4.50 | 450 | 3 | | | |
| 12 | | | 21 | 1,0 | 150 | 5 | | |
| 24 | 1,0 | 150 | 11 | | | 11 | | |

Если принять, что каждая ложная отметка формируется из k и более шумовых импульсов, превысивших некоторый пороговый уровень Π , то вероятность этого превышения pможет быть получена из следующего уравнения [5]:

$$P_{no} = \sum_{n=0}^{\infty} C_n^m \cdot p^m \cdot (1-p)^{n-m}, \qquad (3)$$

 $P_{no} = \sum_{m=k}^{n} C_{n}^{m} \cdot p^{m} \cdot (1-p)^{n-m}, \tag{3}$ где $C_{n}^{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!}$; n – количество импульсов в пределах ширины ДНА по точкам половинной мощности, определяемое следующим образом [4]: $n = \frac{T_{\rm o} \cdot \theta_{\rm 0.5}}{360} \cdot F_{\rm u} + 1,$

$$n = \frac{T_{o} \cdot \theta_{0,5}}{360} \cdot F_{u} + 1, \tag{4}$$

где $T_{_{0}}$ – период обзора пространства, с; $F_{_{\rm H}}$ – частота повторения зондирующих импульсов, Гц.

Пороговый уровень, обеспечивающий $P_{10} = 10^{-4}$ при: $T_0 = 3 c - (частота оборота антенны 20 об/мин); <math>\Theta_{0.5} = 1^\circ;$ k = 0.5n

| | Вариант длительности зондирующих импульсов | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|-------------|----|----------|-------------------------------|----------------------|----|----------|--|
| <i>D</i> _{шк} , мили | Короткие (Short) | | | | Длинные (Long) | | | | |
| | F_{u} , Гц | $τ_u$, ΜΚС | n | П, В | $F_{_{^{\prime\prime}}}$, Гц | τ _, , ΜΚС | n | П, В | |
| 0,25 | | | | 0,497550 | 2000 | 0,05 | 18 | 0,497550 | |
| 0,5 | 2000 | 0.05 | 10 | | 1000 | 0,25 | 9 | 0,484605 | |
| 0,75 | 2000 | 0,05 | 18 | | | | | | |
| 1,5 | | | | | | | | | |
| 3 | | 00 0,25 | | 0,484605 | 500 | 1,0 | 5 | 0,489109 | |
| 6 | 1000 | | 9 | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | |
| 24 | 500 | 1,0 | 5 | 0,489109 | | | | | |

Количество импульсов k в выражении (3) является характеристикой межпериодной обработки радиолокационных сигналов конкретной НРЛС и определяется ее разработчиком. Для целей обучения операторов можно принят k = 0.5n.

Исходя из принятой модели, когда случайная амплитуда шумовых импульсов имеет равномерное распределение в интервале от 0 до 0,5, неизвестный пороговый уровень П находится из уравнения, определяющего вероятность попадания такой случайной величины в интервал от П до 0,5:

$$p = \frac{0.5 - \Pi}{0.5 - 0} \,. \tag{5}$$

Значения порога П, вычисленные в соответствии с выражениями (3)–(5), представлены в табл. 3.

Выполненное предварительное моделирование случайного потока шумовых видеоимпульсов и подсчет их числа, превысивших пороговые уровни из табл. З во всех разрешаемых ячейках пространства, т.е. подсчет числа ложных отметок в одном цикле обзора пространства, как и следовало ожидать, дали полное совпадение с числом ложных отметок $N_{\text{\tiny ло}}$ из табл. 2.

Таким образом, модель шумов приемника в виде пуассоновского потока равномерно распределенных случайных импульсов отвечает требованием стандарта ІЕС 62388, а порядок вычисления порогового уровня для видеосигнала обеспечивает требуемую вероятность ложного обнаружения.

МОДЕЛЬ ЭХО-СИГНАЛОВ ОТ ТОЧЕЧНОЙ ЦЕЛИ

Обычно точечные цели в морской радиолокации имеют относительно небольшие значения $\,\overline{\sigma}_{_{\rm II}}\,$ – средней эффективной площади рассеяния (ЭПР) менее 100 м². Флуктуации ЭПР точечных целей обусловлены лепестковой структурой их формы диаграммы вторичного излучения, высокой подвижностью на морском волнении и скрывающим эффектом за гребнями морских волн. Последнее определяется их низким расположением над поверхностью моря.

Флуктуация ЭПР точечных целей характеризуется интервалом корреляции, меньшим, чем период следования зондирующих импульсов. Это проявляется в том, что случайные значения ЭПР изменяются от импульса к импульсу и носят независимый характер. Такие флуктуации принято называть «быстрыми». А закон распределения случайной ЭПР этих целей $\sigma_{_{II}}$, можно принять экспоненциальным [4]:

$$W(\sigma_{_{\Pi}}) = \frac{1}{\overline{\sigma}_{_{\Pi}}} \cdot \exp\left(-\frac{\sigma_{_{\Pi}}}{\overline{\sigma}_{_{\Pi}}}\right). \tag{6}$$

Международная ассоциации морских средств навигации и маячных служб [7] относит к числу точечных морских целей с быстрым характером флюктуаций ЭПР объекты, перечисленные в табл. 4.

Точечные радиолокационные цели

| | Характеристики цели для X-диапазона | | |
|---|--|----------------------------------|--|
| Радиолокационная цель | Границы изменения ЭПР, м² | Высота над уровнем моря, м | |
| Навигационный знак, веха ограждения | До 1 | От 1 до 4 | |
| Навигационный буй | От 0,5 до 5 | От 2 до 3,5 | |
| Навигационный буй с уголковым отражателем | От 10 до 100 | От 1 до 4 | |
| Небольшая открытая лодка из стеклово- локна, дерева или резины с подвесным мотором и не менее 2 человек на борту, небольшой скоростной катер, небольшие рыболовные суда или небольшие парус- ные лодки | От 0,5 до 5 | От 0,5 до 1 | |
| Прибрежные рыболовные суда, парусные лодки и быстроходные катера, оснащенные радиолокационным отражателем хорошего качества | От 3 до 10 | От 1 до 2 | |
| Плавающие предметы, нефтяные бочки и другие подобные предметы. | До 1 | До 0,5 | |
| Водные лыжи и другие личные водные суда | До 0,5 | До 1 | |

Средняя мощность отраженных эхо-сигналов P_c от точечной цели на входе приемника НРЛС вычисляется по формуле [4]

Формуле [4] $P_{\rm c} = \frac{P_{\rm H} G^2 \lambda^2 \overline{\sigma}_{\rm H}}{\left(4\pi\right)^3 D^4}, \tag{7}$ где $P_{\rm H}$, Вт – импульсная мощность передатчика НРЛС; G –

где $P_{\rm u}$, Вт — импульсная мощность передатчика НРЛС; G — коэффициент усиления антенны; λ , м — длина ЭМ волны; $\overline{\sigma}_{\rm u}$, м² — средняя ЭПР цели; D, м — радиолокационная дальность пели.

Модель амплитудной характеристики имитатора должна, с одной стороны, соответствовать динамическому диапазону DR (Dynamic Range) приемника HPЛС с логарифмическим УПЧ (см. рис. 2), с другой — она должна удовлетворять требованиям к диапазону амплитуд видеосигналов на выходе имитатора от 0 до $U_{\rm max}=+5\pm0,2$ В. Этим требованиям удовлетворяет линейная модель, приведенная на рис. 4. При этом она является универсальной для имитации сигнала на выходе приемников, отличающихся как предельной чувствительностью, так и динамическим диапазоном.

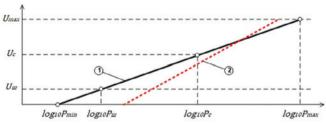


Рис. 4. Модель амплитудной характеристики приемника HPIC

1-приемник более чувствительный и с большим DR, 2- менее чувствительный приемник с меньшим DR

Согласно уравнению прямой этой характеристики, учитывая, что $DR = P_{\max} \ / \ P_{\min}$,

$$\frac{U_{\rm c}}{U_{\rm max}} = \frac{\log_{10} P_{\rm c} - \log_{10} P_{\rm min}}{\log_{10} P_{\rm max} - \log_{10} P_{\rm min}} = \frac{\log_{10} P_{\rm c} - \log_{10} P_{\rm min}}{\log_{10} DR},$$
 (8)

откуда

$$U_{\rm c} = \frac{U_{\rm max}}{\log_{10} DR} \cdot \left(\log_{10} P_{\rm c} - \log_{10} P_{\rm min}\right) = 10 \cdot \frac{U_{\rm max}}{DR_{\rm дБ}} \cdot \left(\log_{10} P_{\rm c} - \log_{10} P_{\rm min}\right), (9)$$
 где $P_{\rm min}$ — неизвестное минимальное значение мощности сигнала на входе приемника, соответствующее нулевому значению напряжения видеосигнала на его выходе; $DR_{\rm дБ}$ — динамический диапазон приемника в децибелах.

Неизвестное значение $\log_{10} P_{\min}$ определяется из соотношения (9), где вместо $U_{\rm c}$ и $P_{\rm c}$ подставлены, соответственно, известное $U_{\rm m}$ и $P_{\rm m}$, вычисляемое согласно (1),

$$\log_{10} P_{\min} = \log_{10} P_{\text{III}} - \frac{U_{\text{III}}}{U_{\text{max}}} \cdot \log_{10} DR = \log_{10} P_{\text{III}} - \frac{U_{\text{III}}}{U_{\text{max}}} \cdot \frac{DR_{\text{AB}}}{10}. (10)$$

Соотношения (7), (9) и (10) вместе с вычислением мощности шумов приемника на его входе (1) составляют математическою модель среднего значения эхо-сигнала цели на выходе имитатора, соответствующего средней ЭПР точечной цели $\overline{\sigma}_{\text{ц}}$. Случайное значение $\sigma_{\text{ц}}$, распределенное по экспоненциальному закону, можно получить следующим образом

$$\sigma_{\Pi} = -\overline{\sigma}_{\Pi} \cdot \ln z, \tag{11}$$

где z- случайное число, равномерно распределенное от 0 до 1.

Случайное значение $\sigma_{_{\parallel}}$ из (11) подставляется в выражение (7) вместо $\overline{\sigma}_{_{\parallel}}$ для получения случайного же значения мощности эхо-сигнала цели, которая пересчитывается в напряжение видеосигнала на выходе приемника в соответствии с выражением (9) и с учетом (10).

Количественную оценку вероятности того, что случайные флюктуации ЭПР лежат в пределах от одного порядка в меньшую сторону и до одного порядка в большую сторону от любого среднего значения можно получить следующим образом: определив максимальное и минимальное значение случайной ЭПР: $\sigma_{\text{max}} = 10 \ \overline{\sigma}_{\text{u}}$; $\sigma_{\text{min}} = 0.1 \ \overline{\sigma}_{\text{u}}$, и, учитывая, что

$$\int_0^{\sigma} \frac{1}{\overline{\sigma}} e^{-\frac{\overline{\sigma}}{\overline{\sigma}}} d\sigma = 1 - e^{-\frac{\overline{\sigma}}{\overline{\sigma}}},$$

получим

$$\int_0^{\sigma_{\text{max}}} \frac{1}{\overline{\sigma}} e^{-\frac{\overline{\sigma}}{\overline{\sigma}}} d\sigma - \int_0^{\sigma_{\text{min}}} \frac{1}{\overline{\sigma}} e^{-\frac{\overline{\sigma}}{\overline{\sigma}}} d\sigma = e^{-0.1} - e^{-10} \approx 0.9.$$

Таким образом, случайное значение ЭПР точечной цели, распределенное согласно (6) с вероятностью не менее 0,9 будет лежать в пределах $\sigma_{\rm max}=10$ $\overline{\sigma}_{\rm q}$ и $\sigma_{\rm min}=0.1$ $\overline{\sigma}_{\rm q}$ для любого среднего значения ЭПР. С учетом этого, на рис. 5 приведен пример зависимости среднего значения эхо-сигнала от дальности, где также нанесены кривые максимального и минимального значения напряжения, в пределах которых будет наблюдаться видеосигнал флуктуирующей точечной цели на выходе имитатора. Учитывая быстрый характер флуктуации ЭПР точечной цели, а также независимость случайных значений числа z, можно считать, что флуктуации эхо-сигнала, полученные приведенным способом, не коррелированы и соответствуют флуктуации сигнала от цели в течение времени одного облучения диаграммой направленности антенны НРЛС.



 $Puc.\ 5.\ 3$ ависимость величины эхо-сигнала на выходе приемника от дальности с пределами флуктуации $U_{\phi_{A\,max}}$ и $U_{\phi_{A\,min}}$

$$P_u$$
 =20 κBm; G = 2200; λ = 0,03 м; N_u =4; Δf_{np} = 5 MΓυ,; DR = 100 δB; $\overline{\sigma}_u$ = 10 м²

Обнаружение точечных целей, особенно в спокойных условиях и в условиях небольшого волнения моря, в значительной степени зависит от многолучевого распространения электромагнитных (ЭМ) волн в направлении от антенны к цели и обратно. Влияние этого эффекта проявляется на относительно близких расстояниях и зависит от многих факторов, включая высоту антенны, длину ЭМ волны радара, характеристики цели (высота над уровнем моря, отражающая поверхность), дальность цели и состояние моря. В условиях спокойного моря или незначительного волнения ЭМ волна, которая отражается от поверхности моря, с углом падения, равным углу отражения, при облучении цели и на входе антенны будет векторно, с учетом фаз, складываться с прямой волною. В результате многолучевое распространение ЭМ волны может увеличивать или уменьшать мощность эхо-сигнала точечной цели. Увеличение мощности может достигать +12 дБ, уменьшение −∞ дБ. Многолучевое облучение точечной цели учитывается с помощью интерференционного множителя [1]

$$Y = 16 \cdot \sin^4 \left(\frac{2\pi \cdot H_a \cdot H_u}{\lambda \cdot D} \right), \tag{12}$$

где $H_{\rm a}$, м — высота установки антенны над уровнем моря; $H_{\rm u}$, м — возвышение точечной цели над уровнем моря; λ , м — длина \Im М волны; D, м — дальность цели.

Интерференционный множитель можно учесть в (11) при вычислении случайного значения ЭПР цели следующим образом:

$$\sigma_{_{\Pi}} = -Y \cdot \overline{\sigma}_{_{\Pi}} \cdot \ln z. \tag{13}$$

Пример вычислений для условий рис. 5, но с учетом интерференционного множителя *Y* приведен на рис. 6.



Рис. 6. Изменение величины эхо-сигнала цели с дальностью с учетом интерференционного множителя и диапазона флуктуации

$$H_{a} = 15 \text{ m}, H_{u} = 2 \text{ m}, \lambda = 0.03 \text{ m}$$

Таким образом, выражения (1), (7), (9), (10), (12) и (13) представляют собой математическую модель флуктуирующего эхо-сигнала точечной цели на выходе имитатора радиолокационных сигналов, которая учитывает технические характеристики НРЛС, отражающие свойства цели, и ее положение относительно НРЛС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель работы – разработка имитатора радиолокационных сигналов, который применим как при тестировании НРЛС по стандарту IEC 62388, так и при обучении судоводителей согласно Кодексу ПДНВ по типовому курсу 1.07. Она определила подход к выбору степени упрощений в описании физических процессов. Основной идеей этого подхода является реализация двухэтапной процедуры моделирования. На первом этапе вычисляется мощность сигнала на входе приемника, на втором – амплитуда этого сигнала на его выходе. При этом сам приемник представляется как компрессор динамического диапазона сигналов с универсальной для любых приемников современных НРЛС логарифмической амплитудной характеристикой.

Ограниченный объем статьи позволил представить модели только двух видов сигналов: собственных шумов приемника и эхо-сигналов точечных целей. За ее пределами остались модели сигналов сложных целей, отражений от берега, от морской поверхности и гидрометеоров, сигналов радиолокационных маяков-ответчиков, ретрансляторов поиска и спасания, активных помех различной природы, которые учитывают характеристики диаграммы направленности антенны, морское волнение, затухание сигнала в атмосфере, радиолокационную наблюдаемость. Все эти модели реализуют представленный в статье подход и представляют собой достаточно простые математические соотношения, которые, однако, позволяют адекватно представить зависимость сигнала на выходе имитатора от всего многообразия физических процессов формирования, излучения, распространения и приема радиолокационных сигналов. При этом открытым остается вопрос о возможности создания программной реализации этих моделей, функционирующей в темпе реального времени работы НРЛС и имитации окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

- IEC 62388 International standard: Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems –Shipborne radar – Performance requirements, methods of testing and required test result. – Ed. 2.0. – 2013-06.
- Кодекс по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты, с поправками 2010 года. – Ч. В. – Гл. І. – Разд. В-І/12. Руководство по использованию тренажёров.
- Типовой курс 1.07 Международной морской организации Radar Navigation at Operational Level.
- Кручинецкий М.Ф. Основы радиолокации / МО РФ. СПб.: ВМИРЭ им. А.С. Попова, 2005.
- Современная радиолокация/ Пер. с англ. под ред. Ю.Б. Кобзарёва. – М.: Сов. Радио, 1969.
- Bole A., Dineley D., Wall A. Radar and ARPA Manual. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2014.
- IALA Guideline 1111 Preparation of Operational and Technical Performance Requirements for VTS Systems. – Ed. 1.0. – 2015. – May 2015. ■

ЭПРОН В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

В первый день начавшейся Великой Отечественной войны приказом наркома ВМФ СССР и наркома Морского флота СССР от 22 июня 1941 г. № 0525/22с ЭПРОН был полностью передан в состав ВМФ. К этому времени это уже была достаточно мощная организация. Она имела 28 спасательных судов (СС) и спасательных буксиров, в том числе 7 СС специальной постройки, 50 водолазных ботов, несколько плавбаз для судоподъемных работ, барж, килекторов и других специализированных судов, а также располагала техническими средствами для выполнения судоподъемных и аварийно-спасательных работ (АСР). Приказом наркома ВМФ от 22.08.1941 г. № 0799 было введено в действие Положение о Главном управлении (ГУ) ЭПРОН ВМФ и об аварийно-спасательной службе флота. Организационная структура ЭПРОН, сложившаяся в предвоенные годы, в целом отвечала задачам АСО боевых действий ВМФ и поэтому в первый год войны изменений не претерпела, изменилась лишь система подчиненности, что и позволило успешно выполнять задачи в первый год войны. В большой мере этому способствовало также то, что ЭПРОН с момента ее создания формировалась на основе военной структуры, а также использования опыта участия Балтийской экспедиции ЭПРОН в советско-финской войне 1939-1940 гг. Приказом наркома ВМ Φ от 2.06.1942 г. № 0469 ЭПРОН была переименована в Аварийно-спасательную и судоподъемную службу ВМФ, которая уже через два года также приказом наркома ВМФ от 3.01.1944 г. № 05 переименована в аварийно-спасательную службу (ACC) BMΦ [2].

В годы войны ЭПРОН-АСС ВМФ был выполнен большой объем судоподъемных, АСР и ПТР. Были оказаны различные виды помощи (снятие с мели, поддержание на плаву, тушение пожаров и др.) более чем 1500 аварийным судам и кораблям, что стало весомым вкладом в поддержание боеспособности флота и в обеспечение работы морского транспорта. Подъем и восстановление затопленных судов, разделка поднятых судов, не подлежащих ремонту, на металлолом, а также восстановление гидротехнических сооружений портов были определены как общегосударственные задачи [19].

РОЛЬ ЭПРОН В РАЗВИТИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО **ДЕЛА**

С начала 30-х гг. и до конца 90-х гг. прошлого века был широко распространен термин аварийно-спасательное дело

РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ ЭКСПЕДИЦИИ ПОДВОДНЫХ РАБОТ ОСОБОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РАЗВИТИИ СУДОПОДЪЕМНОГО, ВОДОЛАЗНОГО И СПАСАТЕЛЬНОГО **ДЕЛА РОССИИ** К 100-ЛЕТИЮ ЭПРОН ЧАСТЬ 3*

Г.А. Гребенщикова, ∂ -р истор. наук, проф., СПбГМТУ, В.С. Никитин, д-р техн. наук, проф., президент, **В.Н. Илюхин**, д-р техн. наук, проф., руководитель секции, РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, контакт. тел. (812) 757 1122, (812) 710 4011

(АСД), содержанием которого было спасательное, судоподъемное и водолазное дело - взаимообусловленные и неразделимые области деятельности при выполнении поисковых и АСР. ЭПРОН в 1923–1941 гг. сыграла ключевую роль в развитии АСД страны, было поднято около 450 боевых кораблей и судов, спасено от гибели 188 судов.

Эффективность деятельности ЭПРОН, выполнения работ, направленных на решение важной государственной задачи - восстановление торгового и военного флотов путем подъема затонувших кораблей и судов - менее чем за 20-летний период была достигнута за счет:

- высокого организационного и профессионального уровня руководителей и специалистов (рис. 1 и рис. 2), сумевших в 20-е гг. собрать не только распыленную по всей стране водолазную и судоподъемную технику, но и специалистов. А. М. Горький, приветствуя в телеграмме эпроновцев, спасших под руководством Ф. И. Крылова в 1933 г. ледокольный пароход «Малыгин» в Арктике, назвал их «людьми сказочной энергии»:
- непрерывного расширения спектра и масштаба решаемых задач в интересах всех ведомств страны, накопления и творческого применения накапливаемого опыта при выполнении работ;
- создания подразделений ЭПРОН в центре и в регионах страны;
- создания системы подготовки кадров. Военно-морской водолазный техникум (ВМВТ), который стал общесоюзным центром подготовки специалистов для выполнения всех видов АСР, ПТР и судоподъемных работ в ВМВТ, который, кроме того,

- активно вел научные исследования и разработки;
- проведения научно обоснованной технической политики, осуществляемой ГУ ЭПРОН в тесном сотрудничестве с ведущими учеными страны, входившими в состав Научно-технического совета ЭПРОН и Постоянной комиссии по АСД (рис. 3). ЭПРОН является родоначальником отечественной гидронавтики.

ЭПРОН-АСС ВМФ внесла значимый вклад в Победу нашего народа в Великой Отечественной войне. За четыре года войны было поднято около 1700 кораблей и судов суммарным тоннажем около 730 тыс. т.

Приобретенный за годы Великой Отечественной войны организационный, профессиональный и научно-технический опыт позволил АСС ВМФ успешно решать задачи аварийно-спасательного обеспечения морской деятельности всей страны до 1956 г.

попытка воссоздания эпрон

В первое послевоенное десятилетие АСС ВМФ выполняла большое число судоподъемных и ПТР, связанных с восстановлением разрушенных портовых сооружений и других народнохозяйственных объектов.

В связи с колоссальным увеличением восстановительных работ начальник Речного аварийно-спасательного управления ВМФ контр-адмирал Ф. И. Крылов в январе 1946 г. обратился с докладной запиской к секретарю ЦК ВКБ(б) В. М. Маленкову, в которой ходатайствовал о необходимости срочной централизации судоподъемного дела на морях и реках путем восстановления технически мощной и обеспеченной кадрами судоподъемной организации. В записке говорилось: «Существовавшая до войны

^{*}Окончание. Начало см. «Морской вестник», 2023, № 2(86), 3(87)



Рис.1. Руководители ЭПРОН



Рис. 2. Специалисты ЭПРОН

судоподъемная организация ЭПРОН была в начале войны расформирована, техническое и водолазное оборудование, плавсредства и кадры ЭПРОН переданы в Наркоматы Военно-Морского и Речного флотов. При существующем распылении между разными ведомствами водолазного снаряжения и кадров проблема судоподемных и ПТР на морях и реках СССР не может быть решена достаточно эффективно. В настоящее время такой организации нет...». По мнению Ф. И. Крылова, необходима срочная централизация судоподъемного дела на морях и реках путем восстановления ЭПРОН в форме Главного управления при Совнаркоме СССР и возложении на нее задач по судоподъему

и гидротехническим работам для различных наркоматов [17]. Докладная записка Ф. И. Крылова 29.01.1946 г. была направлена В. М. Маленковым для рассмотрения членам Правительства СССР. В ответе наркома ВМФ СССР Адмирала флота Н. Г. Кузнецова заместителю Председателя Совнаркома СССР В. М. Молотову говорилось о нецелесообразности восстановления прежнего ЭПРОН, совершенно правильном нахождении АСС в составе ВМФ, поскольку вполне успешно справляется с возложенными на нее задачами, в том числе и в части выполнения судоподъемных, АСР и ПТР. Кроме того, подчеркивалось, что эти работы тесно связаны с работой подразделений АСС

и отрядов траления флотов по очистке акваторий от мин и различного боезапаса, затопленного во время войны. Работы по очистке акваторий продлятся около пяти лет, поэтому нецелесообразно и небезопасно разделять взаимосвязанные направления работ по различным ведомствам. Доводы наркома ВМФ были признаны обоснованными, а судоподъемные и гидротехнические работы остались в ведении АСС ВМФ. Кроме того, в отношении оказания помощи иностранным судам и особенно в спасении человеческих жизней АСС ВМФ до 1956 г. выступала как единая государственная организация.

В середине 50-х гг. началось создание мощного океанского ракетно-ядерного флота, основой которого стали атомные ПЛ. Соответственно возросли и требования к аварийно-спасательному обеспечению (АСО) сил ВМФ, что обусловило значительное переориентирование деятельности АСС ВМФ. Следствием этого стало Постановление СМ СССР от 17 марта 1956 г. № 362-233, согласно которому с АСС ВМФ была снята задача по проведению судоподъемных и ПТР для гражданских ведомств с передачей части СС и технических средств в создаваемую спасательную службу Министерства морского флота [19]. Это постановление стало ключевым в децентрализации мощной и стройной системы АСД на морях и реках, составными частями которого были водолазное, судоподъемное и спасательное дело. Определенную роль сыграло и заключение Правительственной комиссии, расследовавшей обстоятельства гибели линкора «Новороссийск» в октябре 1955 г. и действий АСС ВМФ по его спасению.

Необходимо сказать и еще об одной попытке централизации судоподъемного дела в стране, когда 30 ноября 1992 г. Указом Президента РФ № 1494 был создан Комитет по проведению подводных работ особого назначения при Правительстве РФ (КОПРОН).

Основные задачи КОПРОН:

- организация выполнения заданий по предотвращению экологических катастроф на морях и других водных акваториях, подъему затопленной военной техники, боеприпасов, снаряженных отравляющими веществами, и контейнеров с радиоактивными отходами;
- формирование проектов государственных целевых и научно-технических программ развития подводных работ особого назначения, совершенствования существующих и создания новых высокоэффективных технологий выполнения подводных работ, создания специальных технических средств для реализации этих программ.

КОПРОН ликвидирован 10 января 1994 г. Часть его функций переданы МЧС России.

ЗНАЧЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭПРОН

До 1956 г. спасательное, судоподъемное и водолазное дело развивалось и совершенствовалось комплексно в рамках единой государственной военизированной АСС страны с единой технической политикой развития сил и средств, а также с единой системой подготовки специалистов. Именно этим и объясняются успехи ЭПРОН в развитии АСД страны. По многим направлениям технический уровень поисково-спасательных средств не уступал зарубежным аналогам. Ведущее положение удерживалось в таких областях, как создание технологий подъема затонувших судов, оказание помощи аварийным кораблям, освоение глубин водолазами и подводными рабочими камерами. Результаты деятельности ЭПРОН послужили основой для становления и дальнейшего развития ведомственных АСС. К сожалению, остался невыученным главный урок деятельности ЭПРОН – только в рамках централизованной единой АСС возможно успешное решения задач судоподъема и АСО всех ведомств страны.

С упразднением единой морской государственной аварийно-спасательной службы в 1956 г. и созданием ведомственных АСС произошло не только ведомственное разделение развития АСД и его составных частей – водолазного, судоподъемного и спасательного дела, но и административное разделение институтов его развития, в том числе межведомственных комиссий по развитию АСД, научно-исследовательских организаций по АСД, координационных научно-технических советов и др. Последующие события подтвердили правильность доводов Ф. И. Крылова о воссоздании ЭПРОН в 1946 г. Отсутствие организации, предлагаемой Ф.И. Крыловым, не позволило выполнить в свое время распоряжение Совета Министров СССР от 29 декабря 1988 г. № 2614-р, которым предписывалось всем министерствам и ведомствам очистить в 1989-1990 гг. морское побережье от списанных и брошенных судов. Об этом свидетельствует и опыт АСР при катастрофе АПЛ «Комсомолец» и «Курск». Предложения правительственных комиссий о создании единой государственной морской службы поиска и спасания после этих катастроф не были реализованы. Анализ выполнения решений Морской коллегии при Правительстве РФ по вопросам поисково-спасательного обеспечения (ПСО) морской деятельности показывает, что ряд важных для развития АСД решений нереализован. В частности, по судоподъему не выполнено решение



Рис.З. Члены научно-технического совета ЭПРОН

от 6 апреля 2005 г. по оценке общего количества затонувших кораблей и судов независимо от их принадлежности, создающих угрозу безопасности судоходства и наносящих ущерб окружающей среде, а также по подготовке концепции федеральной целевой программы подъема и утилизации затонувших кораблей, судов и иных объектов во внутренних водах и территориальном море РФ. Ни одно ведомство самостоятельно решать проблему подъема затонувших объектов в полном объеме не в состоянии из-за отсутствия соответствующих технических средств. Что касается развития водолазного дела, то не выполнено решение Морской коллегии от 17.04.2009 г. в части разработки проекта программы реализации Концепции развития водолазного дела. Результатом стало отсутствие реализации Концепции развития водолазного дела в РФ на период до 2020 г., принятой 18.04.2008 г. Не выполнено также решение Морской коллегии от 27.09.2013 г. по разработке концепции ПСО морской деятельности РФ. Недостаточный уровень комплексного подхода характерен и для организации развития АСД, так как в 2008 г. создана только Межведомственная комиссия по развитию водолазного дела при МЧС России. Комиссий по развитию спасательного дела и судоподъема, к сожалению, нет.

Этот же недостаток присущ и существующей федеральной системе поиска и спасания (ФСПС) на море. Это подтверждает и «Стратегия развития морской деятельности РФ на период до 2030 г. » (утверждена распоряжением Правительства РФ от 30 августа 2019 г. № 1930-р), в которой сказано, что основной проблемой в развитии

ПСО морской деятельности является «недостаточный уровень взаимодействия и комплексного подхода к развитию и обеспечению функционирования сил и средств аварийно-спасательных формирований федеральных органов исполнительной власти». Попытки решить проблемные вопросы развития только водолазного дела в отрыве от судоподъема и спасания, как показывает опыт, малопродуктивны. Вместе с тем опыт выполнения АСР при авариях свидетельствует о том, что в их ликвидации vчаствуют все ведомственные ACC согласно действующим руководящим документам о взаимодействии. Сегодня проблема заключается в необходимости централизованного решения проблемных вопросов развития составных частей АСД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее значимым этапом развития АСД в России стало создание в 1923 г. ЭПРОН, оставившей за неполных два предвоенных десятилетия яркие страницы в истории, которые необходимо вспомнить в год 100-летнего юбилея этой организации не только для того, чтобы привести примеры профессиональной деятельности, но и получить ответы на актуальные вопросы современности. Некоторые из сегодняшних проблем ФСПС на море успешно решались ранее, но в силу различных причин положительный опыт прошлых лет в определенной степени утрачен.

Подчиненность ЭПРОН неоднократно менялась, но неизменным все эти годы было спасательное, судоподъемное и водолазное дело, которые неразрывно связаны, развивались параллельно, дополняли друг друга.

Именно поэтому решение проблемных вопросов развития составных частей АСД сегодня должно осуществляться комплексно. На необходимость учета бесценного опыта ЭПРОН указывает и ст. 71 Морской доктрины Российской Федерации, утвержденная Указом Президента РФ от 31.07.2022 г. № 512, которая определяет «ПСО морской деятельности как комплекс организационно-технических мероприятий, поисковых, спасательных, подводно-технических и водолазных работ, направленных на оказание помощи поврежденным и терпящим бедствие кораблям, судам и другим морским объектам, спасание их экипажей, а также на выполнение работ по подъему затонувших кораблей и судов».

ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Чикер Н.П.* Служба особого назначения. М.: Изд. ДОСААФ, 1975.
- Спасатели Военно-Морского Флота. М.: Воениздат, 1996.
- 3. ЭПРОН. Документы по истории Экспедиции Подводных Работ Осо-

- бого Назначения при ОГПУ СССР (1923–1931). М., 2015.
- ЭПРОН: Сб. ст. по судоподъему, водолазному и аварийно-спасательному делу/Под ред. Ф. И. Крылова. – Л.: Тип. ЭПРОН,1936. – № III-V; 1938. – №XXIII-XX, с. 418.
- Шпакович Ф. А. Воспоминания старого водолаза. – В кн.: А. В. Жбанов, А. А. Помозов, Д. А. Жбанова. Севастопольские гидронавты. – Севастополь, 2014, с. 384–397.
- 6. Илюхин В. Н., Капустин Б. В. Водолазы России. Основные вехи истории//Русский подводный технический журнал «Октопус». 2008. № 4. С. 26–30.
- Боровиков П.А. Водолазное дело России: С конца 1930-х и до наших дней М.: Нептун. – 2017. – С. 598.
- 8. Жбанов А.В. 100 лет... Что дальше? Севастополь: ЭПРОН-Клуб.,2015, с. 160.
- Фирсанов С.В. Исторические вехи создания аварийно-спасательной службы Красного Флота. – Мат-лы науч.-практ. конфер. «Рождённый революцией: К 100-летию Красного Флота. – СПб.: ЦВММ, 2018. – С. 173–183.
- 10. Как это делалось в ЭПРОН. В кн.: А. В. Жбанов, А. А. Помозов, Д. А. Жба-

- нова. Севастопольские гидронавты. Севастополь, 2014, с. 362–364.
- 11. М*уру Н.П., Маняк С.Н*. Чикер Николай Петрович: Биограф. очерк. СПб.,1995.
- 12. *Илюхин В.Н.* О развитии судов АСС ВМФ//Судостроение. 2020. № 1. 59–68; № 6. С. 59–64.
- В их иллюминаторы заглядывала бездна... Каталог коллекции водолазной техники из фондов ЦВММ: К 100-летию АСС ВМФ. – СПб.: ЦВММ, 2021. – 108 с.
- 14. *Илюхин В.Н.* О развитии АСС ВМФ: К 100-летию со дня создания//Морской вестник. – 2021. – № 1 (77). – С. 112–119.
- 15. *Кишкун И. М.* ЭПРОН на о. Диксоне.//ЭПРОН: Сб ст. 1936. № XIII–XV. С. 42.
- Черкасов Г. С. Реорганизация Аварийно-спасательной службы ВМФ в период 1941–1946 гг. //Информ. сб.УПАСР ВМФ. 1995. – Вып. 7 (43). – С. 217–225.
- 17. РГАВМФ. Ф. Р-961. Оп. 1. Д. 286. Л. 3.
- 18. *Илюхин В. Н.* Этапы развития Аварийно-спасательной службы ВМФ: К 100-летию со дня создания//Оборонно-промышленный потенциал. 2021. № 1. С. 14–19; № 2. С. 8–15. ■

ноября 2023 г. скончался капитан 1 ранга в отставке, доктор технических наук Петр Александрович Шауб.

Родился Петр Александрович 31 октября 1931 г. в Таганроге. Окончил ВВМИУ им. Ф.Э. Дзержинского (1950-1955 гг.). С 1955 г. служил в Аварийно-спасательной службе и Техническом управлении Балтийского флота. В 1961 г. после окончания ВМА кораблестроения и вооружения им. А. Н. Крылова начал службу в 1 НИИ ВМФ (1ЦНИИ МО, НИИ кораблестроения и вооружения), в котором трудился почти 60 лет. Последовательно занимал должности от младшего научного сотрудника до начальника управления. В 1977 г. успешно защитил докторскую диссертацию.

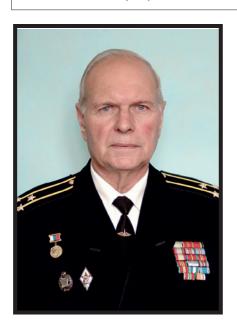
Результаты более чем полувековой научно-производственной деятельности Петра Александровича в стенах института впечатляют: монографии, сотни научных трудов, десятки изобретений, и все они воплощены в решениях таких важных и актуальных для ВМФ задач, как повышение живучести кораблей и судов, автоматизация их проектирования, создание новых морских интеллектуальных технологий.

За успехи в решении этих и ряда других задач П.А. Шауб был награжден 24 орденами и медалями, премией Правительства РФ в области науки

ПАМЯТИ П.А. ШАУБА

Научно-исследовательский институт (кораблестроения и вооружения) ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,

контакт. тел. (812) 405 0700



и техники, кроме того, ему присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники $P\Phi$ ».

Особую роль Петр Александрович сыграл в подготовке научных кадров для ${\sf BM\Phi}$ и как непосредственный на-

учный руководитель нынешних кандидатов и докторов технических наук, и как ученый секретарь НИИ К и В. За 25 лет его пребывания на этом посту успешно защищено 60 докторских и 232 кандидатские диссертации.

Свою профессиональную деятельность П. А. Шауб умело сочетал с педагогической и научно-общественной деятельностью, будучи президентом Ленинградского областного правления НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова (с 2002 г.) и вице-президентом Международного и Российского НТО судостроителей.

Друзья и коллеги скорбят о кончине Петра Александровича Шауба, этого умного, обаятельного, доброго человека, и искренне соболезнуют его родным и близким.

Редакционная коллегия, члены редакционного совета и редакция журнала «Морской вестник» выражают свои соболезнования родным, друзьям и коллегам в связи с этой утратой. Имя Петра Александровича Шауба навсегда останется в наших сердцах и нашей памяти.

7середине 1960-х гг. организация середине 1300-х г. с_г... кораблестроительной науки и проектирования боевых кораблей в КНР претерпела изменения, во многом напоминающие события в советском кораблестроении в предвоенные годы. Схожи были и главные причины реформ – провал чрезмерно оптимистических планов развития народного хозяйства и военного строительства, взаимные обвинения руководителей флота и промышленности, поиск и назначение виновных. В 1962 г. НИИ-7 передали в ведение созданного Комитета по оборонной науке и технике¹, а в 1965 г. его статус оказался значительно сниженным в результате подчинения 6-му министерству машиностроения. Немногочисленные кадры инженеров-кораблестроителей с опытом проектирования с 1961 г. сосредоточили в НИИ-701 (г. Ухань)², а начальником этого института стал ранее возглавлявший НИИ-7 (кораблестроения) контрадмирал Лю Хуацин, получивший ранг заместителя министра (в 1965–1969 гг. он занимал должность заместителя председателя Комитета по науке, технике вооружениям).

Стендовые испытания опытного ГТЗА для будущего ракетного эсминца проводили осенью 1965 г., весной следующего года начали испытания главных котлов. Оптимистическая оценка докладов о состоянии работ по созданию главной энергетической установки позволила командованию ВМС НОАК запланировать закладку головного корабля до конца 1966 г.

Однако контр-адмирал Лю Хуацин настоял на необходимости сконцентрировать усилия на проектировании атомной подводной лодки. Эти работы получили наивысший приоритет, отодвинув надводные корабли на второй план. Разработка и изготовление опытного образца турбины для АПЛ снизили темпы работ по ГТЗА «453».

Программа строительства надводных кораблей еще долго оставалась бы без внимания руководства КНР, если бы

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, ИСПЫТАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ ВМС НОАК ЧАСТЬ 2*

О.В. Третьяков, д-р техн. наук, капитан 1 ранга, начальник, Д.Ю. Литинский, науч. сотрудник, НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», контакт. тел. (812) 405 0706

не успехи 2-го и 7-го машиностроительных министерств - «атомного» и «ракетного». В марте 1965 г. партийно-государственным руководством Китая принимается решение делать на базе опытной ракеты SDF-4 боевую двухступенчатую ракету с дальностью 4000 км (целями для нее могли стать не только американские военные базы на о. Гуам, если США решили бы воспрепятствовать «освобождению Тайваня», но и Москва). По этому же решению началась разработка межконтинентальной баллистической ракеты (МБР). После испытаний ядерных зарядов средней и малой мощности 27 октября 1966 г. состоялся успешный пуск ракеты со специальной головной частью, а в последних числах декабря была испытана водородная бомба. На 1970 г. запланировали испытание 80-тонной MБР «Dongfeng-4» на максимальную дальность.

Поскольку возможные точки прицеливания находились в Тихом океане, флот должен был отправить в этот район надводные корабли для его закрытия для мореплавания, эскортирования специальных судов плавучего измерительного комплекса и главное — для исключения возможности несанкционированного подъема приводнившейся головной части ракеты.

Самыми крупными надводными кораблями ВМС НОАК по-прежнему оставались бывшие советские эсминцы пр. 7, служившие на Северном флоте ВМС НОАК. Поскольку минимально необходимое для участия в обеспечении испытаний количество боевых кораблей определили в три вымпела, это означало лишить флот возможности действовать за пределами ближней морской зоны.

Поэтому, учитывая необходимость обеспечения запланированных на 1970 г. летно-конструкторских испытаний МБР³, в июне 1966 г. Центральный Во-

енный Совет КНР принял решение возобновить проектирование ракетного эсминца. В июле вышла директива 6-го министерства машиностроения о проектировании и строительстве головного корабля, а разрабатываемый план предусматривал завершение постройки пяти эсминцев к 1970 г.

Работы по новому проекту эсминца, которому присвоили номер 051, начались в 1965 г. под руководством главного конструктора НИИ-701 Ли Фули, окончившего факультет судостроения Шанхайского университета в 1950 г. Функции его заместителей выполняли Чжен Фукуань и Пан Цзинфу (1930–2023). Последний в 1955 г. окончил электромеханический факультет Шеньянского университета, получил некоторый опыт в области паротурбинной электроэнергетики и ранее руководил проектированием дизельной механической установки сторожевого корабля пр. 062.

Стремление всемерно ускорить проектирование имело негативные результаты. Поскольку на большую часть механизмов, оборудования и вооружения еще только составлялись технические задания, компоновка отсеков получалась весьма условной — общее расположение «плыло». Каждая новая компоновка приводила к росту водоизмещения и к снижению расчетной остойчивости.

В своих интервью в 2010-е гг. академик Пан Цзинфу (избран действительным членом Инженерной академии КНР в 1995 г.) утверждал, что сначала проектирование велось в гладкопалубном корпусе корабля советского пр. 56, а для размещения пусковых установок ПКР его длину (117,9 м по КВЛ) пришлось увеличить на 6 м, что вызывало опасения за обеспечение общей продольной прочности.

По результатам рассмотрения эскизного пр. 051 утвердили вариант нормальным водоизмещением 3000 т (см. таблицу).

¹ В 1961 г. была создана канцелярия Госсовета КНР по оборонной промышленности, отвечавшая за комплексное руководство отраслью, преемником которой стал учрежденный в 1977 г. при Центральном Военном совете Комитет по науке, технике и вооружению, который осуществлял руководство исследованиями по разработке вооружений и их производством

² Уханьский проектный институт судостроения – НИИ-701 – создан на базе военно-морского инженерного факультета Харбинской военной академии и факультета морского оружия Северо-Западного политехнического университета в 1970 г. Ныне – Китайский проектно-исследовательский центр кораблестроения (China Ship Design & Research Centre – CSIC).

³ Окончательное решение о проведении испытаний МБР над акваторией Тихого океана приняли только в 1975 г., а фактический пуск «Dongfeng 5» состоялся 18 мая 1980 г.

^{*}Продолжение. Часть 1 см. «Морской вестник», 2023 №3(87).

Учитывая, что китайские проектанты, знакомые с советскими нормами прочности для расчета корпусов надводных кораблей, не располагали методиками и практическим опытом в области общей прочности корпусов, а лишь отдельными документами технического пр. 56, за основу приняли расчетный корпус пр. 41, укороченный на 1,5 м. Высоту борта на миделе уменьшили на 0,2 м, а у форштевня – увеличили до 12 м. Таким образом, корпус получил значительно большую седловатость. Большим стал и развал носовых шпангоутов в надводной части, что значительно увеличило брызгообразование.

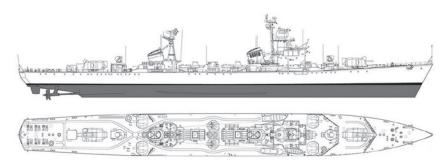
Транцевую корму советского пр. 41 для улучшения управляемости на заднем ходу и для снижения сопротивления движению посчитали необходимым изменить, придав корме некоторую стреловидность в плане и увеличив наклон. В одном из интервью Пан Цзинфу упоминается об изменении на стадии технического проекта обводов кормовой оконечности, принятых по результатам выполненных НИИ-7024 модельных испытаний, целью которых было снижение буксировочного сопротивления. Отличия от прототипа подтверждается фотографиями, на которых, в частности, заметно уменьшение радиуса сопряжения борта и кормового подзора и более пологий профиль батоксов.

Поскольку повышение точности выдачи целеуказания ракетному оружию для стрельбы на волнении и необходимое для надёжного выполнения стрельбы ограничение бортовой качки являлись первостепенными требованиями, на корабле предусматривалось устройство умерения бортовой качки.

У советского эсминца пр. 41 бортовые управляемые рули отсутствовали. Считалось, что при сравнительно большом водоизмещении корабля с хорошей остойчивостью наличие стабилизации 130-мм артиллерийских установок по углу наклона цапф обеспечивают возможность применения оружия в свежую погоду. Корабль пр. 56 («уменьшенный сорок первый») стал первым советским серийным эсминцем с устройством умерения бортовой качки.

Согласно китайским источникам, спроектированное и изготовленное Даляньским судостроительным заводом для головного корабля пр. 051 устройство умерения бортовой качки обеспечи-

⁴В 1951 г. в Шанхае создали лабораторию для проведения буксировочных испытаний моделей кораблей и судов, в 1954 г. был построен опытовый бассейн. В 1957 г. лаборатория переименована в НИИ-702. С 1965 г. институт функционирует в Уси. Ныне — НИЦ судостроения (China Ship Scientific Research Center) Государственной судостроительной корпорации, в Шанхае и Циндао — филиалы.



Советский эскадренный миноносец пр. 41

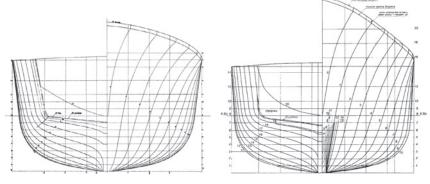


Китайский ракетный эсминец пр. 051

Таблица

Основные кораблестроительные элементы советских эскадренных миноносцев проектов 41 и 56 и ракетного корабля ВМС НОАК проекта 051

| Элемент | Проект 41 | Проект 56 | Проект 051 | | | | | |
|--|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|--|
| Размерения, м | | | | | | | | |
| Длина наибольшая Длина по КВЛ Ширина по КВЛ Высота борта на миделе | 134,0 128,0 12,5 8,0 | 126,2 118,0 12,8 7,4 | 132,0 126,0 12,4 7,8 12,0 | | | | | |
| Высота борта в носу Осадка средняя: – при <i>D</i> _{ст.} _ при <i>D</i> _{норм.} – при <i>D</i> _{полн.} Осадка габаритная | 3,75 4,09 4,42 | 3,75 4,00 4,26 | 3,88 4,20 4,60 6,04 | | | | | |
| Коэффициент общей полноты | 0,516 | 0,501 | 0,516 | | | | | |
| Водоизмещение, т: – стандартное – нормальное – полное | 3010 3360 3830 | 2667 2949 3230 | 3250 3490 3670 | | | | | |
| Начальная поперечная метацентрическая высота при нормальном водоизмещении, м | 1,17 | 0,85 | 0,95 | | | | | |
| Дальность плавания, мили (ход), уз Полный запас котельного | 4300 (17,7) 5280 (14,1) 740 | 3090 (18,0) 545 | 2970 (18,0) 3640 (14,5) | | | | | |
| топлива, т Экипаж, человек (в том числе офицеры) Автономность по запасам | 305 (20) | 248 (19) | 350 280 (45) | | | | | |
| пресной воды и провизии, сут. | 20 | 10 | 10 | | | | | |



Эскиз проекции «корпус» теоретического чертежа советских эсминцев проектов 41 (слева) и 56 (справа)

вало безопасное плавание на волнении 8–9 баллов, возможность применения ударного ракетного оружия на волнении 6 баллов и нормальное применение остального оружия и вооружения корабля при 5 баллах. Конструктивное исполнение устройства, размещенного в отсеке у носовой переборки 1-го турбинного отделения, вероятно, повторяло таковое пр. 56, т.е. бортовые рули втягивались в ниши по направлению оси баллера.

Каких-либо упоминаний о самостоятельном проектировании китайскими специалистами гребных винтов авторам найти не удалось. Исходя из оценки геометрических характеристик, они изготавливались по чертежам винтов для советского эскадренного миноносца пр. 41.

Первоначально приняли два балансирных руля и развитые выкружки гребных валов («штаны») без кронштейнов. Последующие изменения выступающих частей свидетельствуют о попытках борьбы с кавитационной эрозией гребных винтов. Объемная наделка перед выходом гребного вала появилась для снижения пульсирующих нагрузок от лопастей гребных винтов на днище. Возможно, что своим появлением она обязана длительной борьбе с вибрацией кормовой оконечности, которая «досталась» китайским кораблям от советского прототипа.

В качестве основного конструкционного материала корпуса корабля, разделенного главными поперечными переборками на 15 отсеков (у советского эсминца пр. 41 с совмещено-эшелонным расположением КТУ их было 14), приняли легированную (марганцево-никелевую хромистую) сталь марки «903» с пределом текучести 390 МПа, что должно было обеспечить требовуемый советскими нормами прочности коэффициент запаса 1,5. Фактически было получено значение 1,46.

Набранный по продольной системе корпус проектировался цельносварным, за исключением ширстрека, который соединялся с бортовой обшивка угольниками (12×350) на заклепках. Форштевень — сварной конструкции, ахтерштевень и кронштейны гребных валов — литые. Изготовление отливок ахтерштевня и кронштейнов в то время представляло для китайской промышленности большую техническую проблему.

Расчетная непотопляемость корабля обеспечивалась при стандартном, нормальном и полном водоизмещениях в различных случаях затопления трех любых смежных отсеков.

Используя нагрузку масс советского пр. 41 по действовавшему в тот период времени стандарту пересчетом (см.: «Влияние изменения длины ко-



Строящийся ракетный эсминец пр. 051 перед спуском на воду



Единственный опубликованный рисунок, дающий некоторое представление о компоновке ракетного эсминца пр. 051

рабля на его водоизмещение и скорость хода». Л: ЦНИИ-45, 1949) можно определить численное значение подраздела «голый корпус» знагрузки масс китайского эсминца в 1072 т. Добавление подразделов «оборудование помещений», «системы», «устройства», «электрооборудование», «связь и управление» и «жидкие грузы в корпус» дает массу корпуса 1501 т.

Расчетная скорость полного хода корабля пр. 051 при водоизмещении 3340 т и полной проектной мощности механизмов (66 000 л.с.) составляет 35,4 уз.

Котлотурбинная установка корабля пр. 051, в отличие от принятой в советском пр. 41 совмещенно-эшелонной схемы, компоновалась в четырех отсеках (два котельных и два турбинных), и вследствие этого занимала большую длину корпуса. Эшелоны — котельное отделение с двумя главными котлами и смежное с ним турбинное — разделены отсеком носовой электростанции и вспомогательных механизмов.

Высоконапорный котёл «76/64» имел габаритные размеры $5.3 \times 5.4 \times 5.9$ м.

Он вырабатывал в час 72 т пара температурой 430 °С под давлением 6,4 МПа. Потребителями пара главных котлов, кроме ГТЗА и главных турбогенераторов, были 18 вспомогательных механизмов главной энергетической установки и систем корабля.

Электроэнергетическая система корабля пр. 051 проектировалась на переменном токе (380 В, 50 Гц). Источниками электроэнергии, кроме двух турбогенераторов общей мощностью 800 кВт, служили три 400-киловаттных дизельгенератора и один аварийный мощностью 180 кВт, установленные в двух электростанциях, одна из которых находилась в отсеке между эшелонами КТУ, а вторая соседствовала с турбинным отделением № 2.

Поскольку отбор пара на турбогенераторы влиял на режим работы главных турбин, для питания всех корабельных электропотребителей (среди них — 27 вспомогательных механизмов пропульсивной установки) на расчетных режимах нагрузки требовалась одновременная работа дизель-генераторов. Их проектирование стало сложной задачей, решение которой потребовало значительного времени. С появлением на кораблях новых потребителей (в частности, радио-

⁵ Металлический корпус + подкрепления и фундаменты + дельные вещи + деревянные части + окраска + изоляция и покрытия + воздух в корпусе.

локационных станций) электроэнергетическая система оказалась не в состоянии обеспечить одновременную работу всех потребителей в боевом режиме.

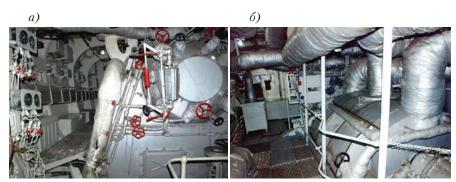
При трассировке и прокладке магистральных электрических кабелей и трубопроводов корабельных систем недостаточное внимание конструкторов уделялось соблюдению требований обеспечения боевой живучести и непотопляемости корабля. Кабельные трассы и конструктивное оформление проходов кабелей и трубопроводов через водонепроницаемые переборки выполнялось групповым в целях минимизации препятствий для аварийной заделки пробоин, для герметизации кабельных проходов использовались не подвергавшиеся в обязательном порядке сертификации на воздействие высоких температур, огнестойкость и токсичность материалы.

Обитаемость кораблей пр. 051 сравнивать с отечественными кораблями трудно, поскольку неизвестны санитарные нормы, действовавшие в китайском кораблестроении. Учитывая вынужденный аскетизм быта в КНР в 1960-е гг. и «сознательность военнослужащих», следует считать, что обязательные к исполнению требования были минимальными.

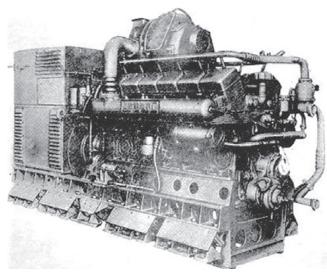
Проектная автономность по запасам пресной воды и провизии составляла всего десять суток — такой же была спецификационная автономность по пресной воде советского 56-го проекта. О хроническом дефиците пресной воды вспоминают все служившие на китайских эсминцах. Для сравнения: на «Неустрашимом», экипаж которого насчитывал 305 человек, полный запас пресной воды составлял 54 т (24 т питьевой и 30 т мытьевой); на кораблях пр. 56, численность экипажа которых была меньше на восемь человек — всего 35,5 т.

На китайских кораблях с первоначальным штатным экипажем 280 человек, который увеличивался по мере выполнения модернизационных работ с заменой и установкой нового вооружения⁶, в дальних походах расходная питьевая вода в больших пластиковых канистрах хранилась в жилых помещениях, а жестко соблюдавшаяся суточная норма расхода пресной воды для бытовых нужд составляла 0,5 л на человека.

Помещение камбуза на эсминцах утвержденным проектом не предусматривалось, приготовление и прием пищи в базе обычно осуществлялось на верхней палубе, индивидуальная посуда хранилась в кубриках команды. В походных условиях для приема пищи использовалось предназначенное для проведения политзанятий помещение на второй палубе. На всем корабле имелось два



Котельное (а) и турбинное (б) отделения корабля пр. 051



Дизель-генератор мощностью 400 кВт, созданный для корабля пр. 051



В носовом кубрике команды корабля пр. 051

ватерклозета общего пользования, постоянные душевые также отсутствовали.

Как государство, обладающее ядерным оружием, КНР готовилась к войне с его применением. Примененная в котлотурбинной установке кораблей пр. 051 система закрытого питания (дутье в котлы) позволяла создать герметичный контур в целях защиты от оружия массового поражения с фильтровентиляционными установками. Однако, кроме того, необходимо было обеспечить возможность команде корабля занимать боевые посты без выхода на открытые палубы, герметичность и боевую вентиляцию главного и запасного командного пунктов и ходового мостика. Для обеспечения возможности последнего его следовало выполнить полностью закрытым.

В СССР первым кораблем подкласса эскадренных миноносцев, который проектировался с учетом требований противоатомной защиты, стал ракетный эсминец пр. 56М. В китайском пр. 051 общекорабельный герметичный контур не предусматривался, о чем, в частности, говорит наличие бортовых иллюминаторов в корпусах кораблей первой серии.

Поскольку впервые комплексные учения по защите от оружия массового поражения проводились на флотах в 1987 г., можно предположить, что технические требования по противоатомной защите корабля в целом, корпусных конструкций и оборудования в ВМС НОАК не были введены в действие ранее 1985 г. ■

Продолжение следует

 $^{^6}$ На эсминцах «Kāifēng» и «Dalian» после модернизации 1999 и 2002 гг. – до 318 человек, из которых 50 – офицеры и мичманы.

пецифика исторического анализа, предопределяемого временным отстранением от изучаемой эпохи, заставляет мириться с неминуемым искажением образов прошлого, миры же, предстающие перед глазами ученого, весьма ограничены в информативности, зачастую представляя собой не более чем обрывочные слепки прошедшей «действительности», полные скрытых политических, культурных и ментальных смыслов. В подобной «действительности» многогранный и противоречивый образ императора Петра Великого неминуемо расплывчат, иллюзорен и не укладывается в четкую логическую схему, но при этом обладает определенной «внутренней реальностью», в поисках которой перед исследователями открываются многообразные варианты прочтений и интерпретаций. В предлагаемом материале сделана попытка гипотетически вычленить программу Петра I по продвижению русских интересов в Мировой океан, отталкивались при этом от «одержимости» Петра морской стихией и его стремлением выйти за рамки собственно русских морей, найдя возможность приступить к выстраиванию колониальной империи.

Незадолго до кончины, в январе 1725 г., император Петр I в беседе с генерал-адмиралом Ф. М. Апраксиным сделал неожиданное признание: «Худое здоровье заставило меня сидеть дома; я вспомнил на сих днях то, о чем мыслил давно, и что другие дела предприять мешали, то есть о дороге чрез Ледовитое море в Китай и Индию. На сей морской карте проложеной путь, называемый Аниан, назначен не напрасно. В последнем путешествии моем в разговорах слышал я от ученых людей, что такое обретение возможно. Оградя отечество безопасностию от неприятеля, надлежит стараться находить славу государству чрез искусства и науки». [1].

О чем таком «давнем» вспомнил император, написавший собственноручную инструкцию по поиску пролива, соединяющего Азию с Америкой. Когда царь Пётр начал задумываться о Мировом океане? Возможно, подтолкнули его к этому первые морские победы на Балтике, получившие отражение в аллегорических символах. Тогда, в 1703 г., на картуше «Карты восточной части Финского залива» А. Шхонебека и П. Пикарта предстал «повелитель морей» Нептун, символически олицетворявший геополитическую программу молодого царя под лозунгом «Qvartum adjunxit tribus» («Четвертое присоединил к трем»). Бог морей расположился под державным двуглавым орлом и был окружен божествами, олицетворяющими четыре российских моря. В руках у бога Балтийского (Варяжского) моря были острога и ключ, символизировавший взятие шведской крепости, переименованной в Шлиссельбург (Ключ-город). Божество Азовского моря сжимало острогу

«ДОЛГОТА ЖИЗНИ НАШЕЯ НЕ НАДЕЖНА»: РАСПОЛАГАЛ ЛИ ПЕТР ВЕЛИКИЙ ПРОГРАММОЙ ЭКСПАНСИИ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ?

Д.Н. Копелев, д-р истор. наук, проф. Института истории и социальных наук Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, контакт. тел. + 7 (931) 306 3461



с опрокинутым полумесяцем, что свидетельство об одержанной царем победе над Турцией. Венчали композицию божество Белого моря с гарпуном и божество Каспийского моря с аллегорическим изображением Волги. Можно предположить, что за их появлением стояла тщательно продуманная пропагандистская кампания, отголоски которой обнаруживаются в переписке с царем Петром думного дьяка А. А. Виниуса, статс-секретаря по делам царства Сибирского. Четыре моря, эти, по словам Виниуса, «четыре дивная пристанища» - не что иное, как военноморские крепости, на которых возводятся «государская победительныя павилионы». «Северный Нептунус, - писал Виниус, привлече во свою компанию к Перскому Турецкаго и Варяжскаго тритонов (на поле письма объяснение: «Тритоны у Нептуна — держанники». — I.K.), иже в трубы своя, по своим морям шествуя, вашу государскую фаму повсюду разносят... Радуйся, мой милостивейший, яко слава ваша подобно орлу, возшедшему выше протчих потентат, из них же никто может сказать, яко в державе своей ко четырем различным морям пристанища имети» [2]. Уже на заре рождения военно-морской державы тот же Виниус начал обустраивать «дивные пристанища». Б. П. Полевой обнаружил в РГАДА «Наказную память» от 1697 г. для нового воеводы Якутска Д.А. Траурнихта, на которой рукой дьяка была сделана вставка, где Траурнихту поручалось по приезде в Сибирь проверить «всякими мерами накрепко» ходивши вниз по Лене, возможно ли «морем судами идти» в Тихий океан. Если это возможно, то Траурнихт должен был «к такому морскому пути сделать суды, удобные со всякими судовыми запасы...» [3].

Чьи идеи могли подтолкнуть царя Петра к мысли о Мировом океане: Н. К. Витсена, Г. В. Лейбница, Я. Брюса, Р. Арескина? Установить это невозможно, тем более трудно обнаружить письменные материалы, знакомство с которыми подпитывало интерес царя к Мировому океану. Но некоторые документы, повлиявшие на взгляды царя, все же сохранились, и на их основании можно предпринять попытку гипотетически вычленить контуры программы Петра по экспансии в Мировом океане.

Проект Ф. С. Салтыкова, 1713–1714 гг. В 1713 г. Федор Степанович Салтыков, сын тобольского воеводы боярина С.И. Салтыкова, служивший в Тобольске стольником при своем отце, представил Петру записку, в которой предлагал построить корабли в устье Енисея и «теми кораблями кругом Сибирского берега проведать, не возможно ли найтить каких островов, которыми б мочно овладеть, - а ежели таких островов и не сыщется, мочно на таких караблях там купечествовать в Китай и в друге островы». Адмиралу Апраксину было тогда поручено обдумать вопрос об экспедиции из устьев Енисея на восток. Но еще до решения этого дела Салтыков в 1714 г. выдвинул проект «О взыскании свободного пути морского от Двины реки, даже до Омурского устья и до Китай». [4] По его мнению, следовало построить корабли в устье Двины. Оби и Лены и около «Святого Носа», отправить на них «несколько морских людей из иноземцев и из русских» описывать морское побережье от Двины до Оби, от Оби до Енисея, от Енисея до Лены и «до последняго речного устья, которое обыщется удобное близ Амуры реки и по устье амурское и вдоль между Епоном и Китаеми», «на проливех Вайгатс в Новой Земле» нужно возвести крепость, «а другую на матерой земле, что лежит против Новой Земли», и по примеру Зундских пошлин установить с кораблей, направляющихся в Ост-Индию «пошлины на приклад». Такие же крепости следовало основать

«в заливах, в Сибири на Ангамане реке, а против того на Амуре острове».

Мнение князя И.А. Щербатова, 1720 г. Иван Андреевич Щербатов, сын спальника Петра I. солдат Преображенского полка, в 1719 г. на собственные средства отправился в Англию. Проучившись здесь около трех лет и проштудировав математику, тригонометрию, астрономию и навигационные науки, князь в марте 1720 г. направил в Петербург перевод книги шотландского банкира Джона Ло «Considérations sur le numéraire et le commerce par J. Law» под заглавием «Деньги и купечество, рассуждено с предлогами к присовокуплению в народе денег чрез г-на Ивана Ляуса, ныне управителя королевского банка в Париже» [5]. Следуя идеям господина Ляуса, Щербатов предлагал оживить внутреннюю торговлю в России, основав банки и наладив выпуск бумажных «обещательных писем», гораздо более удобных в обращении, чем серебряные деньги. Ключевое значение князь Щербатов придавал созданию акционерной торговой компании, капитал которой складывался бы из взносов пайщиков, причем все металлические деньги участники должны были обменять в банке на «билеты». Предусматривалось, что компания расширит торговлю с Персией и Китаем, а также установит торговые связи с Испанией, Португалией, владевшими богатейшими колониями в Америке и Азии и бывшими основными поставщиками золота и серебра в Европу, и будет посылать туда товары на отечественных кораблях, минуя посредников.

Следуя логике меркантилистов, Щербатов рассчитывал увеличить запасы драгоценных металлов в России, где собственная их добыча была небольшой. Чтобы лучше следить за состоянием спроса на рынке, торговая компания должна была послать во все важнейшие страны агентов, «знающих торг», и «тем агентам приказать накрепко, дабы смотрели в тех землях, в которые посланы будут, каким способом торг распространять». Отсутствие подобных компетентных специалистов, по мнению князя, уже обернулось для России большими финансовыми потерями, так как русские торговые агенты в Западной Европе не известили вовремя царя о «зачатии и о состоянии Миссисипской компании во Франции, а в Англии о состоянии Полуденной (Компания Южных морей. – \mathcal{A} . \mathcal{K} .) компании». А ведь если бы, сожалел Щербатов, «употребить в те компании некоторое число денег и немногие месяцы спустя продать долю, которая была положена в компании, а чрез ту продажу иметь прибыль во Франции в двадцать раз, а в Англии в три или четыре раза того числа, сколь положено было» [6].

Записка об учреждении рыболовецкой компании, 1721 г.

Крах французской Миссисипской компании и британской Компании Юж-

ных морей продемонстрировал, насколько рискованными оказались инвестиции в колониальные «мыльные пузыри». Однако Щербатов предлагал обратить внимание и на другие заморские проекты. Об одном из них он писал как о наиболее прибыльном. Касался он организации рыбного промысла в Белом море и создания торговой сети по продаже рыбопродуктов в Италии, Испании и Португалии. «Для зачатия той торговли, - отмечал Щербатов, - выписать из Англии рыбаков, которые бывали в Новонайденной земле и знают, какую рыбу ловить и как солить». Одновременно разрабатывались планы возобновления китобойного промысла у побережья Лапландии, фактически находившегося в монопольном владении торговых компаний Нидерландов». В марте 1721 г. французский консул в Петербурге А. Лави доносил в Париж, что несколько лет назад некий английский негоциант подал Петру записку, в которой предложил учредить рыболовецкую компанию для ловли семги, трески, моржей и китов в водах от реки Двины до реки Печоры. Рассмотрев и одобрив записку, Петр I передал ее «для просмотра» в Коммерц-коллегию. По мнению Лави, в качестве торговых партнеров могли выступить французы, которые «лучше всех прочих наций в состоянии заняться им, употребив для этого байонцев предпочтительно перед другими подданными короля» [7].

Спустя полгода после доклада Лави, в ноябре 1721 г. в частной беседе с посланником Франции Ж. де Кампредоном граф Толстой вернулся к вопросу о китобойной компании, подчеркнув, что «царь приказал держать его в секрете до самого приведения в исполнение». По его словам, «голландцы, пользуясь нашим невежеством, почти одни присвоили эту ловлю и извлекают из нее громадные барыши. Мы должны этим богатством поделиться, образовавши вместе компанию; управляющим назначим французов, и им представлены будут все возможные покровительство, льготы и выгоды, каких они пожелают». Все подготовительные работы по организации компании в Коле и Архангельске следовало, по указанию государя, держать в тайне от англичан и голландцев и «таким образом предупредить их в деле». Параллельно собирались агентурные сведения. В одном из донесений, поступивших в Адмиралтейств-коллегию в 1723 г., содержались сведения о китобойном промысле голландцев – сообщалось число судов, вышедших на промысел, и приводились данные о затратах на их снаряжение [8]. В перспективе речь шла об организации в Архангельске привилегированной китобойной компании с участием западноевропейских партнеров, указ о создании которой появился 8 ноября 1723 г. В ее распоряжении находилось пять судов, укомплектованных русским матросами, «ловцов» же следовало вывести из Голландии.

Мадагаскарский проект, 1721–1723 гг.

Ключевой фигурой в реализации плана заведения торговли в Ост-Индии и оказания покровительства пиратам Мадагаскара выступил вине-адмирал датчанин Даниил Якоб Вильстер. Сведения о его первой встрече с царем относятся к февралю 1713 г.: произошла она в Глюкштадте во время военных действий Петра I против шведов. Беседовал ли царь тет-а-тет с Вильстером неизвестно, скорее всего Петр тогда не обратил внимания на своего будущего адмирала [9]. Через полтора года Вильстер вышел в отставку, перешел на службу к шведам, а затем бежал и скрывался в Гамбурге. После переговоров с российским резидентом в Саксонии Я.Ф. Бетхером [10] Вильстера приняли в июне 1721 г. на Российский флот. Осенью 1721 г. он прибыл в Петербург и нашел возможность рассказать царю о тайных операциях, которые вели шведы в отношении пиратов Мадагаскара [11]; в результате в декабре 1723 г. была организована секретная экспедиция на Мадагаскар и в Индию.

Проект «Об учреждении в Западной Индии коммерции», 1711 г.

Был подан в январе 1711 г. английским купцом Рупертом Беком на имя российского посланника в Лондоне князя Б. И. Куракина «к доношению на высочайшее имя» [12]. По мнению Бека, русскому царю следовало отправить экспедицию на остров Тобаго в Вест-Индии, и, пользуясь тем, что ни одна из европейских держав на нем не закрепилась, превратить его в центральную военную базу для создания торговых факторий в Вест-Индии и ведения выгодной торговли с французами, англичанами и испанцами, а также с «аругами, калибами, караибами и другими индейскими народностями». Для этой цели необходимо учредить Вест-Индскую компанию и законным образом получить права на владение островом, изобилующим многочисленными богатствами: «сырным» и «железном» деревом, картофелем, напоминавшем по вкусу каштаны, сахарным тростником и черепахами. Нужно только воспользоваться подходящим моментом и выкупить Тобаго у «князя Курляндского», так как остров принадлежит именно ему. Бек сообщал, что несколько лет назад несколько англичан выкупили Тобаго у герцога за 10 тысяч фунтов стерлингов, однако сумма так и не была выплачена, и сделка не состоялась.

Проект Абдиаса Гаттинга, 1723 г.

В ноябре 1723 г. план освоения Тобаго представил пастор Абдиас Гаттинг, прибывший из Зеландии в Петербург [13]. Он обратился к Петру I с призывом завершить колониальный передел Южной Америки, где многие территории еще не завоеваны, и «в тех землях находятся многие драгоценные товары, яко сахар, кока, кошениль, индиго, табак, кожи, свинец, олово, селит-

ра, ртуть. А особливо зело богатые мины (рудники. – I. I.) золотые и серебряные, такоже золотой песок в земле, а во многих реках жемчужная ловля». Для завоевания этих богатых территорий потребуется с десяток военных кораблей и 12-тысячный воинский контингент. Этот проект, «с почтением за секрет предлагаемый», случайно обнаружил И.Е. Забелин среди разных бумаг XVIII столетия и опубликовал в журнале «Москвитянин» в 1851 г. В документе, предположительно датированным «после 1719 г.», предусматривалась возможность колонизации территорий Амазонии, Уругвая, Южной Бразилии и восточного побережья Аргентины, «которыя по се число ни от какого европского короля не завоеваны, но вольны; от большей части плодородныя, под здравым воздухом, богати металями и лехко можно завоевать, и которыя видятся для цесарского величества российского сохранены быть к завоеванию и владению» [14].

Анонимная записка, 1724 г. Об интересе, проявляемом Петром I к Вест-Индии и, в частности, к Тобаго, свидетельствует также рассказ британского военно-морского офицера Джона Дена, прослужившего на Балтийском флоте около десяти лет. В своем «Дневнике» он признавался, что «знавал некоторых, настолько уверенных в этих своих ожиданиях, что они решались обосновывать право царя на основании его владения Курляндиею на остров Тобаго в Вест-Индии, причем они распространялись насчет многочисленных выгод, которые достанутся этому государю, если он оснует там колонию» [15]. Слова Дена неожиданно нашли подтверждение в документах, хранящихся в кабинете Петра Великого. В специальной записке, поданной 15 ноября 1724 г. императору неким неизвестным лицом, описывалась сложившаяся в Вест-Индии ситуация и предлагалось Тобаго «чрез куплю... или каким другим случаем достать под свое владение», наладить здесь торговлю и «со временем от оного острова Россия могла бы великую прибыль получить». «На сем острову и поныне есть курлянския колония, которыя туды в два пути перевезены на 9 курских караблях. Токмо он, курляндской князь, оное дело инажитации содержать и действо произвесть не мог». Остров же «зело годен для торгу российским государством» и обещает принести его потенциальному владельцу немалые прибыли, и, в первую очередь, золото и серебро, а также сахар, табак, ценные породы древесины, индиго, имбирь, фрукты и «прочие красоты» [16].

Проект Джеймса Вейта, 1724 г.

25 мая 1724 г. капитан 2 ранга Д. Калмыков, прошедший обучение штурманскому делу в Англии, представил адмиралу Апраксину рапорт, в котором сообщил о приезде в Петербург ирландского якобита Джеймса Вейта, изъявившего желание

поступить на службу в Российский флот. По словам Калмыкова, Вейт ранее служил капитаном в Компании Всех Индий Д.Ло и посвятил его в свой секретный план, предусматривавший организацию невольничьей торговли в Атлантике и Индийском океане. По мнению Вейта, России следовало вклиниться в систему Атлантического «золотого треугольника» и наладить сеть торговли «арапами», охватив пространство между Бразилией, Мозамбиком, Мадагаскаром и Маскаренскими островами. Начать он рекомендовал с посылки 750-тонного судна, способного перевозить «1000 человек арапов» и сопутствующие товары: «Корабль для такова взятия надобно быть хорошему и не новому; людей на нем от 160 до 200 человек, а пушек 40». Корабль должен был прийти с грузом вина в Рио-де-Жанейро, закупить товары, потребные для торговли с туземцами и, устроив «возбуждение к охоте для будущаго купечества», направляться к Маскаренским островам, на остров Бурбон (совр. Реюньон), закупая «арапов» на Мадагаскаре и в Мозамбике и транспортируя их обратно в Бразилию [17].

Проект Франциска Ператты, 1724 г. 24 января 1724 г. русский посол в Мадриде князь С.Д. Голицын получил от испанского правительства обширный проект торговца Франциска Перраты об организации русско-испанской торговли, представленный на рассмотрение королю. Посла посетил секретарь статских дел и имел с ним «пространный разговор», касающийся того, «может ли оной бытии благополучен Российской империи подданным и каким бы образы оное начать» [18]. Автор проекта подчеркивал, что «Москва, или великая Росия, хотя и пространна в своих государствах и повседневно расширяется всегда болше новыми владениями, с той стороны великих рек, Обы и Генеце, в Сибири лежащих; однакож там положение, места и границ оне нынешних географов еще не изследовано, понеже она загущена непомерными своими лесами, и можно сказать, что в прошедших временах была незнаема не токмо всей Европе, но якобы и себе самой...». Огромное впечатление на Перрату произвел Персидский поход, который Пётр «по подражанию великого Александра учинил на Каспийском море, когда взял важное место Дербент». Голицын немедленно переправил проект в Петербург и после его рассмотрения получил предписание объявить испанскому двору, что «мы к установлению прямой директной между обоими государствами коммерции весьма склонны».

Колонии в Ост- и Вест-Индиях, закрепление на Американском континенте, создание могущественной торговой компании, организация банковского дела, китобойный промысел в северных морях, строительство крепостей на перспективных торговых направлениях и как результат – превращение России из случайного эпизодического «игрока» на мировой арене в полноправного участника Большой игры, способного разговаривать с позиции силы. Таким ли видел свой имперский план Петр Великий? В беседе с Василием Татищевым в 1724 г. царь, впрочем, с горечью признал, что «долгота жизни нашея не надежна», осознавая, по-видимому, что реализовать задуманное не удастся. Его надежды и ожидания наталкивались на суровые военно-политические и экономические реалии, соседствовали с миражами, мистификациями и под бременем новой, постоянно обновляющейся и противоречивой информации постоянно подвергавшейся корректировке, отчего и принимаемые решения становились объектом сложных политических манипуляций.

ЛИТЕРАТУРА

- Нартов А.К. Рассказы Нартова о Петре Великом//Записки Императорской Академии наук. – 1891. – Т. 67. – № 6. – СПб., 1891, с. 99.
- 2. Письма и бумаги императора Петра Великого. Т. 2 (1702–1703). СПб.: Государственная типография, 1889, с. 538, 539.
- Полевой Б. П. Водный путь из Ледовитого океана в Тихий. Забытый наказ Виниуса 1697 г. //Природа. – 1955. – № 5.
- 1697 г. //Природа. 1955. № 5.
 4. Павлов-Сильванский Н. Проекты реформ в записках современников Петра Великого. Опыт изучения русских проектов и неизданные их тексты. Ч. П: Проекты. СПб.: Типография В. Киршбаума, 1897. 141 с.
- Троицкий С.М. «Система» Джона Ло и ее русские последователи//Франко-русские экономические связи/Редкол.: Ф. Бродель и лр. М. Париж. 1970. с. 90–138
- и др. М. Париж, 1970, с. 90–138. 6. ОР РНБ. – Ф. 885 (Эрмитажное собрание). – Д. 121, 122 б.
- 7. Сборник Императорского Русского исторического общества. Т. 40. СПб.: Типогр. М. М. Стасюлевича, 1884, с. 217.
- 8. РГАВМФ. Ф. 233. Оп. 1. Д. 224. Л. 249–250.
- 9. Письма и бумаги Петра Великого. Т. 13 (1–6. 1713). – Вып. 1. – М.: Наука, 1992, с. 82. 293
- 10. РГАДА. Ф. 9. Отд. II. Оп. 4. Ч. 2. Д. 62. Л. 524—526; РГАВМФ. Ф. 212. Оп. 41. Л. 428 Л. 5—10
- Оп. 11. Д. 128. Л. 5—10

 11. Копелев Д. Н. Битва портуланов: Забытые и малоизвестные страницы военно-морской истории XVI—XIX столетий. СПб.: Изд-во Крига, 2019, с. 407—460.

 12. РГАДА. Ф. 161 (Письма и прошения раз-
- 12. РГАДА. Ф. 161 (Письма и прошения разных лиц на высочайшее имя и к высоким особам (на иностранных языках) коллекция из фондов Посольского приказа и Посольской канцелярии). —Д. 21. Л. 2–5 (на франц. языке).
- Конингсбрюгге Х. ван. История потерянной дружбы. Отношения Голландии со Швецией и Россией в 1714–1725 гг. – СПб.: Европейский Дом, 2014, с. 215.
- «Проэкт завоевания Америки, поданный Петру Великому», Москвитянин, 1 (1851)
 с. 121–124; «Проект покорения земель в Южной Америке при Петре I». Публикацию подготовил А. В. Захаров//Вопросы истории. – 2012. – № 10. – С. 48–56.
- Ден Д. История Российского флота в царствование Петра Великого/Пер. с англ. Е.Е. Путятина/Вст. ст., науч. редакция и уточнение перевода, примеч. П. А. Кротова. СПб.: Историческая иллюстрация, 1999, с. 124.
- 16. РГАДА. Ф. 9. Отд. 2. Д. 23. Л. 272–273 об.
- 17. РГАВМФ. Ф. 233. Оп. 1. Д. 246. Л. 291 об., 292, 292 об.
- 18. РГАВМФ. Ф. 233. Оп. 1. Д. 227. ■

ТРЕБОВАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ И УСЛОВИЯ ИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

- 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 (полутоновые), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутоновых, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.
- 2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после
- публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.
- 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.
- Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 65.011.56:629.5 Ключевые слова: судостроение, изделие судостроения, цифровая информационная модель изделия судостроения, информационный набор, информационный объект, прототип изделия судостроения.

М.В. Вихлянов. Об определении, формировании и применении цифровой информационной модели изделия судостроения//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 1

Предложено определение понятий «изделие судостроения» и «цифровая информационная модель изделия судостроения». Сформирована предметная область информационной модели изделия судостроения (ИМ ИС). Обозначена область задач применения ИМ ИС.Т. 2. Ил. 2. Библиого. 19 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова**: ЦМКБ «Алмаз», катер на воздушной подушке, проект 1238, шифр «Косатка», основные кораблестроительные элементы, вооружение

А.Л. Ивченко, Д.Е. Цымляков. Катер огневой поддержки проекта 1238 «Косатка»//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 11

Описан процесс создания в ЦМКБ «Алмаз» катера огневой поддержки на воздушной подушке пр.1238, шифр «Косатка». Ил. 4.

УДК 629.564 **Ключевые слова**: научно-исследовательское судно, функции, сетецентрические технологии, интегрированная автоматизация, центр трансфера технологий, портал центра

Ю.В. Баглюк, М.Н. Ещенко, А.А. Коржов. О развитии проектов малых научно-исследовательских судов//Морской вестник. 2023. N^2 4 (88). С. 14

На международной выставке «Нева-2023» Центр трансфера технологий СПбГМТУ представил для обсуждения концепцию проекта научно-исследовательского, образовательного и коммерческого судна (НИОКС) «Пионер-2» для региона СЗФО как модификацию и развитие ранее построенного НИС «Пионер-М». Ил. 2.

УДК 629.12 **Ключевые слова**: энергоэффективность, судно, судоходство, экономика, экология

С.Г. Черный, А.С. Соболев, Н.И. Черная, П.А. Ерофеев. Современные тенденции энергосбережения в морской индустрии//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 16

Охарактеризовано современное состояние энергоэффективности как отдельных судов, так и морской отрасли в целом. Затронут вопрос изучения нормативно-правовой базы судоходного сектора.Т. 2. Ил.1. Библиогр. 9 назв.

УДК 629.127 **Ключевые слова**: автономный необитаемый подводный аппарат, проектирование, расчет параметров, материал корпуса, мощность, скорость, масса корпуса, автоматизированный расчет

В.Г.Данилова. Автоматизированный расчет параметров автономного необитаемого подводного аппарата при его проектировании//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 20

В данной статье продемонстрирована разрабатываемая в СПбГМТУ программа автоматизированного расчета параметров АНПА с классическими гидродинамическими формами (цилиндрической, торпедообразной, сигарообразной) на языке программирования Visual Basic 6.0. Ил. 7. Библиограф. 9 назв.

УДК 629.5.036 **Ключевые слова**: автономный необитаемый подводный аппарат, носовые подруливающие устройства (ПУ), тяга

А.В. Юрканский, И.И. Ремизов. Об особенностях изменения тяги носовых подруливающих устройств подводных аппаратов//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 22

Рассмотрены основные причины падения тяги ПУ надводных судов и подводных аппаратов. Приведены основные известные зависимости коэффициента падения тяги ПУ. Предложена характерная универсальная зависимость коэффициента падения тяги ПУ от относительной скорости для АНПА с хорошо обтекаемой «веретенообразной» формой корпуса. Ил. 7. Библиогр. 7 назв.

УДК 623.83 **Ключевые слова**: АО «51 ЦКТИС», биметаллическое соединение, корпусная конструкция, ремонт монтажных соединений, условия эксплуатации

В.В. Тарановский. Технология ремонта корпусных конструкций кораблей, катеров и вспомогательных судов ВМФ с применением биметаллических материалов//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 26

Рассмотрено применение биметаллических соединений проката из алюминиевых сплавов со стальным прокатом для корпусных конструкций кораблей и судов в части условий их эксплуатации, эксплуатационных дефектов и видов их ремонта.Т. 5. Ил. 12. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.5.081.323/324 **Ключевые слова**: судоподъемный комплекс, Арктический регион, перспективы развития, модульное проектирование, материально-техническое обеспечение

С.А. Шиляев, Г.В. Федотов, М.Ю. Солеев. Судоподъемный комплекс как элемент обеспечения безопасности Арктического региона//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 33

Проанализированы подходы к организации судоподъемных работ. Определены вопросы, требующие оперативного решения с учетом накопленного опыта. Обозначены первоочередные работы, которые требуется провести в Арктическом регионе. Обозначено направление развития судоподъемных работ. Библиогр. 4 назв.

УДК 539.3 **Ключевые слова**: иллюминатор, цилиндрический стеклоэлемент, неорганическое стекло, обжимная шайба, обойма иллюминатора, несущая способность, кратковременное нагружение

В.П.Лянзберг, Н.М.Вихров. К определению параметров обоймы иллюминаторов высокого давления со стеклоэлементом в форме диска//Морской вестник. 2023.№ 4 (88). С. 34

Представлено обобщение результатов экспериментальных исследований влияния формы обоймы на несущую способность иллюминатора со светопрозрачным элементом в форме диска из неорганического стекла с использованием обжимной шайбы. Ил. 2. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.5.081 Ключевые слова: искусственный нейрон, искусственные нейронные сети (ИНС), искусственные нейронные сетевые модели, адаптивное управление, теория управления. искусственный интеллект. технологический процесс, база данных, судостроительное производство, процессор, входные и выходные данные, многослойный персептрон (МП), алгоритм глубокого обучения, теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), теория развития технических систем (ТРТС), теория развития творческой личности (ТРТП)

Т.М. Григорьев. Оценка возможности применения искусственных нейронных сетей как инструментов адаптив-

ного управления при создании технологического процесса//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 39

В исследовании рассмотрены наиболее известные на сегодня искусственные нейронные сетевые модели, проанализирована их структура, уточняются назначения структурных компонентов.Т. 1. Библиогр. 9 назв.

УДК 629.5.03:623.8 **Ключевые слова**: энергетическая установка, дизель, газовая турбина, среднеоборотный дизель, редуктор, удельный эффективный расход топлива, экономичность, автономность, удельная масса

С.П. Столяров, А.С. Столяров, А.В. Пролеева, О.М. Фёдорова. О векторе развития корабельных энергетических установок//Морской вестник.. 2023. № 4 (88). С. 40

Показано, что дизельная корабельная энергетическая установка будет иметь преимущество по сравнению с газотурбинной по удельной массе при дальности плавания полным ходом двое суток и более. Т. 4. Ил. 1. Библиогр. 27 назв.

УДК 620.9 **Ключевые слова**: силовая энергоустановка, режимы работы, электропотребители, дизель-генераторная установка, современные компьютерные технологии, автоматизация, эффективность

В.В. Камлюк, И.О. Прутчиков, И.В. Гречушкин. Повышение эффективности работы силовых установок на основе автоматизации управления режимами их функционирования//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 45

Выполнен анализ, выявлены тенденции и перспективы повышения эффективности работы силовых электроустановок. Ил. 1. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.5.065.2 **Ключевые слова**: кран-манипулятор, кран электрогидравлический судовой, телескопическая стрела

Ю.А. Лебедев, С.И. Писарьков. Особенности применения судовых кранов-манипуляторов//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 49

Приведен анализ конструкций судового крана-манипулятора. Даны обобщенные рекомендации по применению кранов-манипуляторов при проектировании судов. Ил. 4.

УДК 621.514.26 **Ключевыеслова**:компрессор,ротационный, холодильный, импортозамещение, судовое комплектующее оборудование

Н.А. Кудла, А.В. Бураков, Р.Р. Хотский. Создание перспективного компрессора для судовых холодильных установок//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 51

Изложен опыт предприятия в области создания холодильного компрессорного оборудования, проанализированы различные конструкции нагнетателей для применения в качестве холодильных компрессоров с учетом технологии их изготовления. Т. 3. Ил. 5. Библиогр. 9 назв.

УДК 623.973 **Ключевые слова**: низкочастотное электромагнитное поле, система компенсации, электромагнитная индукция, измеритель индукции магнитного поля, источник низкочастотного электромагнитного поля, электромагнитный компенсатор

В.Н. Грачёв, Б.Ю. Семёнов. Технические аспекты использования локальных электромагнитных компенсаторов в корабельных системах компенсации низкочастотных электромагнитных полей//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 57

Выполнен анализ возможности использования локальных электромагнитных компенсаторов (ЭМК) в составе автоматических систем компенсации (АСК) низкочастотного

электромагнитного поля кораблей, приведены результаты расчетов параметров ЭМК применительно к типовым корабельным системам компенсации корабельных электромагнитных полей (АСК). Ил. 4. Библиогр. 3 назв.

УДК 62.251 **Ключевые слова**: надежность, гребной вал, дейдвудный подшипник, зазор, уравнение трех моментов, упругая опора, валопровод

А.А. Халявкин, В.А. Гордон, Д.О. Шацков, А.В. Ивановская. О влиянии износа кормового дейдвудного подшипника судового валопровода на его рабочее состояние//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 61

Рассмотрено влияние износа кормового дейдвудного подшипника на рабочее состояние гребного вала судового валопровода. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 9 назв.

УДК 623.827 **Ключевые слова**: топливная ячейка, параметры, воздухонезависимая энергетическая установка с электрохимическим генератором (ВНЭУ с ЭХП).

А.Н. Дядик, А.В. Юшков. Расчетное определение параметров топливной ячейки электрохимического генератора//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 64

Работа воздухонезависимой энергетической установки с электрохимическим генератором (ВНЭУ с ЭХГ) во многом определяется параметрами топливных элементов (ТЭ). Общим достоинством ЭХГ на ТЭ является высокий КПД. Применительно к морским подводным объектам (МПО) существенное значение имеет бесшумность работы ЭУ. Ил. 6. Библиого. 3 назв.

УДК 621.694 **Ключевые слова**: парогазоводяной струйный аппарат, движитель, метано-воздушное топливо, аммиачно-воздушное топливо, недогрев смеси за диффузором, перегрев пара

В.В. Кожемякин, Ю.И. Раевская, Д.П. Левша, Н.А. Морозов. Влияние режимных параметров на статические характеристики двигательно-движительного инжектора//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 66

Рассмотрена двигательно-движительная установка, в которой в качестве движителя используется парогазоводяной струйный аппарат. Проведены исследования влияния недогрева до насыщения газоводяной смеси на выходе из диффузора и перегрева пара на входе в инжектор на статические характеристики. Ил. 12. Библиогр. 10 назв.

УДК 378.096 Ключевые слова факультет морского приборостроения, СПбГМТУ, ЛКИ, история, приборостроительный факультет, кафедра проектирования и технологии производства морских подводных аппаратов и роботов, кафедра морских информационных систем и технологий, кафедра корабельных автоматизированных комплексов и информационно-управляющих систем, кафедра систем автоматического управления и бортовой вычислительной техники кафедра гидрофизических средств поиска.

А.Г. Боярский, Д.И. Кузнецов, А.О. Мадатян. 90-летняя история развития факультета морского приборостроения СПбГМТУ//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 71

Статья описывает историчесикй промежуток жизни факультета. Статья посвящается юбилею – 90-летию факультета Морского приборостроения. Ил. 6. Библиогр. 2 назв.

УДК 621.396.67,004.942 Ключевые слова: электродинамическое моделирование, метод моментов, активные фазированные антенные решетки, коэффициент усиления, диаграмма направленности, помехозащищенность, поверхностная волна, ионосферная волна

В.Д. Пашкевич, В.М. Голубев, А.А. Павлов, С.В. Русин, Я.А. Демидов. О методах разработки антенных систем кв диапазона. Часть 1//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 77

Рассмотрены существующие и перспективные методы расчета количественных показателей элементов сети КВ радиосвязи – антенных систем, точность расчетов которых напрямую влияет на показатели качества радиосвязи, помехозащищенность радиолиний. Представлены результаты вычислений и измерений, а также анализа основных тактико-технических характеристик антенных систем, полученных различными методами. Ил. 5.

УДК 681.391 **Ключевые слова**: алгоритм, помехоустойчивое кодирование, многопозиционные сигналы, линия радиосвязи, автономное судовождение

Е.И. Глушанков, С.А. Митянин, Е.А. Рылов. Анализ эффективности применения помехоустойчивого кодирования и многопозиционных сигналов в линиях радиосвязи систем автономного судовождения//Морской вестник. 2023. № 4 (88), С. 81

Исследуется эффективность совместного применения алгоритмов помехоустойчивого кодирования и многопозиционных сигналов в линиях радиосвязи систем автономного судовождения в условиях аддитивного белого гауссовского шума. Определена потенциальная эффективность совместного применения данных методов для различных значений отношения мощности сигнала к мощности шума. Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

УДК 623.624.2 **Ключевые слова**: распространение радиоволн, коротковолновый диапазон, метод вертикального зондирования, метод возвратно-наклонного зондирования, ионосферный канал, радиопрогнозирование

Ю.О. Батурин, А.А. Саватюгин. Повышение эффективности коротковолновой связи за счет применения методов оперативного прогнозирования распространения радиоволн//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 83

Приведены результаты анализа методов прогнозирования распространения радиоволн в коротковолновом диапазоне, в основе которых лежат методы вертикального и возвратно-наклонного зондирования. Предложенные в статье решения позволяют более оптимально определять радиопрогностические данные ионосферных каналов по результатам прогнозирования и анализа ионосферы и, что особенно важно, в режиме реального времени. Ил. 3. Библиограф. 23 назв.

УДК 629.5+ 621.391 **Ключевые слова**: дроны-камикадзе, векторы признаков, обработка изображений, обнаружение подвижных объектов

Д.В. Васильева, С.А. Якушенко, С.С. Дворников, А.А. Погорелов, С.В. Дворников. Обнаружение морских дронов в оптическом диапазоне//Морской вестник. 2023. \mathbb{N}^2 4 (88). С. 90

Представлены результаты анализа боевых и технических характеристик надводных дронов-камикадзе Украины. Исследована возможность их обнаружения посредством разработанного подхода, основанного на оценке изменения соотношений пикселей яркости изображений, получаемых с видеосистемы мониторинга в виде гистограмм. Ил. 8. Библиогр. 12 назв.

УДК 681.51 **Ключевые слова**: интеллектуальное управление, ядерная энергетическая установка (ЯЭУ), математический аппарат, система управления техническими средствами, режим прогностического управления, режим предупредительного управления

С.Н. Сурин, Б.В. Грек. Опыт разработки интеллектуальных систем управления корабельными ЯЭУ//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 93

Изложен опыт разработки интеллектуального управления корабельной ядерной энергетической установкой (ЯЭУ). Ил. 5. Библиогр. 4 назв.

УДК 004.896 **Ключевые слова**: управление, контроль, диагностика, информация, модель, нечет-кая логика, архитектура, безэкипажный катер, метод

К.В.Лапшин. Особенности контроля и оценки состояния технических средств управления безэкипажным катером//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 99

Рассмотрены методологические основы синтеза интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики состояний технических средств управления безэкипажным катером в реальном масштабе времени. Ил. 2. Библиогр. 8 назв.

УДК 621.039.52.034.6 Ключевые слова: ядерная энергетическая установка (ЯЭУ), жидкометаллический теплоноситель, математическое моделирование, методология функционального моделирования IDEFO

А.А. Горбачев, А.А. Иванов, Е.В. Сальников. Анализ структурно-функциональной целостности транспортной

ЯЭУ с жидкометаллическим теплоносителем с использованием стандарта функционального моделирования IDEFO//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 103

Показано, что при проектировании технических систем, независимо от их назначения, обязательными проектными документами необходимы структурные схемы, используемые для определения и описания основных функциональных частей данных систем и их взаимодействия. Ил. 9. Библиого. 1 назв.

УДК 62–519 **Ключевые слова**: робот-манипулятор, проектирование системы управления, протокол EtherCAT, цифровой двойник, кинематический анализ

П.К. Смирнов, Д.Н. Мосичкин, В.В. Потехин, Е.И. Карасева. Искусство робототехники: проектирование и управление манипуляторами//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 107

Разработан и создан электрический робот-манипулятор для решения задач промышленной автоматизации. Предложена концепция проектирования программных частей системы управления. Описаны достоинства и недостатки применяемых решений. Ил. 5. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.396.96 КлючевыеслованавигационнаяРЛСимитатор радиолока-ционных сигналов, математическая модель, стандарт IEC 62388, Кодекс ПДНВ, типовой курс 1.07, мощность сигнала, видеосигнал, шум приёмника, эхосигнал точечной цели

В.В. Ефимов. Математические модели имитации видеосигналов навигационных РЛС//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 111

Представлен подход к разработке математических моделей радиолокационных сигналов, позволяющий создать имитатор, применимый одновременно как при тестировании НРЛС по стандарта IEC 62388, так и при обучении судоводителей согласно Кодексу ПДНВ по типовому курсу 1.07. Т. 4. Ил. 6. Библиогр. 6 назв.

УДК 627.77 **Ключевые слова**: ЭПРОН, аварийно-спасательная служба, аварийно-спасательные работы, аварийно-спасательная техника, аварийно-спасательное обеспечение, водолазные работы, подводная лодка, спасательное судно, спасание, судоподъём

Г.А. Гребенщикова, В.С. Никитин, В.Н. Илюхин. Роль и значение экспедиции подводных работ особого назначения в развитии судоподъемного, водолазного и спасательного дела России. К 100-летию ЭПРОН. Часть 3//Морской вестник. 2023.№ 4 (88). С. 116

В статье рассмотрены основные условия возникновения и становления развития Экспедиции подводных работ особого назначения (ЭПРОН), а также основные достижения на этапах его развития. Ил. 3. Библиогр. 18 назв.

УДК 623.8 **Ключевые слова**: надводный корабль, управляемое ракетное оружие, проектирование корабля, Китайская Народная Республика. военно-техническое сотоудничество.

О.В. Третьяков, Д.Ю. Литинский. Проектирование, строительство, испытания и эксплуатация надводных кораблей первого поколения ВМС НОАК. Часть 2//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 120

Выполнен ретроспективный анализ развития крупных надводных кораблей ВМС НОАК. Рассмотрены политико-экономические и военно-технические условия формирования кораблестроительного комплекса КНР. Дана оценка степени влияния субъективных и объективных факторов на формирование технического облика надводных кораблей-ракетоносцев ВМС НОАК, а также на темпы и эффективность внедрения управляемого ракетного оружия.Т. 1. Ил. 8.

УДК 9 Ключевые слова: Российская империя, Петр I, Вест-Индия, Тобаго, банковское дело, Ост-Индия, Мадагаскар, пиратство, невольничья торговля, китобойный промысел, акционерная компания

Д.Н. Копелев. «Долгота жизни нашея не надежна»: располагал ли Петр Великий программой экспансии в Мировом океане?//Морской вестник. 2023. № 4 (88). С. 125

О замыслах императора Петра I об экспансии в Мировом океане. Ил. 1. Библиогр. 8 назв.



REQUIREMENTS FOR THE PREPARATION OF ARTICLES AND THE TERMS OF THEIR SUBMISSION

- 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.
- 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 65.011.56:629. **Keywords**:shipbuilding,shipbuilding product, digital information model of a shipbuilding product, information set, information object, prototype of a shipbuilding product.

M.V. Vikhlyanov. On the definition, formation and application of a digital information model of a shipbuilding product//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 1

A definition of the concepts «shipbuilding product» and «digital information model of shipbuilding product» is proposed. The subject area of the shipbuilding product information model (IM IS) has been formed. The scope of tasks for the application of IM IS is outlined.T. 2. Fig. 2. Bibliography 19 titles.

UDC 629.5 **Keywords**: Central Marine Design Bureau «Almaz», hovercraft, project 1238, code «Kosatka», main shipbuilding elements, weapons

A.L. Ivchenko, D.E. Tsymlyakov. Project 1238 fire support boat «Kosatka»//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 11

The process of creating a hovercraft fire support boat, Project 1238, code «Kosatka», is described at the Almaz Central Marine Design Bureau. Fig. 4.

UDC 629.564 **Keywords**: research vessel, functions, network-centric technologies, integrated automation, technology transfer center, center portal

Yu.V. Baglyuk, M.N. Eshchenko, A.A. Korzhov. On the development of small research vessel projects//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 14

At the international exhibition «Neva-2023", the Center for Technology Transfer of St. Petersburg State Medical University presented for discussion the concept of the project of the research, educational and commercial vessel (NIOKS) «Pioneer-2» for the Northwestern Federal District as a modification and development of the previously built R/V «Pioneer-M». Fig. 2.

UDC 629.12 **Keywords**: energy efficiency, ship, shipping, economics, ecology

S.G. Cherny, A.S. Sobolev, N.I. Chernaya, P.A. Erofeev. Modern trends in energy saving in the marine industry//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 16

The current state of energy efficiency of both individual ships and the maritime industry as a whole is characterized. The issue of studying the regulatory framework of the shipping sector is touched upon.T. 2. Fig. 1. Bibliography 9 titles.

UDC 629.127 **Keywords**: autonomous uninhabited underwater vehicle, design, calculation of parameters, hull material, power, speed, hull weight, automated calculation

V.G. Danilova. Automated calculation of the parameters of an autonomous uninhabited underwater vehicle during its design//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 20

This article demonstrates a program for automated calculation of AUV parameters with classical hydrodynamic shapes (cylindrical, torpedo-shaped, cigar-shaped) developed at St. Petersburg State Medical University in the Visual Basic 6.0 programming language. Fig. 7. Bibliography 9 titles. UDC 629.5.036 **Keywords**:autonomousuninhabitedunderwater vehicle, bow thrusters (PU), thrust

A.V. Yurkansky, I.I. Remizov. On the peculiarities of changing the thrust of bow thrusters of underwater vehicles//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 22

The main reasons for the drop in thrust of the launchers of surface ships and underwater vehicles are considered. The main known dependences of the thrust drop coefficient of the launcher are presented. A characteristic universal dependence of the thrust drop coefficient of the launcher on the relative speed is proposed for an AUV with a well-streamlined «spindle-shaped» hull shape. Fig. 7. Bibliography 7 titles.

UDC 623.83 **Keywords**: JSC 51 CDTISR, bimetallic connection, hull structure, repair of installation connections, operating conditions

V.V. Taranovsky. Technology for repairing hull structures of ships, boats and auxiliary vessels of the Navy using bimetallic materials//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 26

The use of bimetallic joints of rolled aluminum alloys with rolled steel for hull structures of ships and vessels is considered in terms of their operating conditions, operational defects and types of their repair. T. 5. Fig. 12. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5.081.323/324 **Keywords**: ship-lifting complex, Arctic region, development prospects, modular design, logistics

S.A. Shilyaev, G.V. Fedotov, M.Yu. Soleev. Ship-lifting complex as an element of ensuring the security of the Arctic region//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 33

Approaches to organizing ship-lifting operations are analyzed. Issues that require prompt resolution taking into account the accumulated experience have been identified. The priority work that needs to be carried out in the Arctic region is identified. The direction of development of ship-lifting operations is indicated. Bibliography 4 titles.

UDC 539.3 **Keywords**:porthole, cylindrical glass element, inorganic glass, crimp washer, porthole holder, load-bearing capacity, shortterm loading

V.P. Lyansberg, N.M. Vikhrov. To determine the parameters of the frame of high-pressure windows with a glass element in the shape of a disk//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 34

A summary of the results of experimental studies of the effect of the shape of the holder on the load-bearing capacity of a porthole with a translucent element in the form of a disk made of inorganic glass using a crimp washer is presented. Fig. 2. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5.081 **Keywords**:artificialneuron,artificialneural networks (ANN), artificial neural network models, adaptive control, control theory. artificial intelligence. technological process, database, shipbuilding production, processor, input and output data, multilayer perceptron (MP), deep learning algorithm, theory of inventive problem solving (TRIZ), theory of technical systems development (TRTS), theory of creative personality development (TRTL)

T.M. Grigoriev. Assessing the possibility of using artificial neural networks as adaptive control tools when creat-

ing a technological process//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 39

The study examines the most well-known artificial neural network models today, analyzes their structure, and clarifies the purposes of the structural components. T. 1. Bibliography 9 titles.

UDC 629.5.03:623.8 **Keywords**:powerplant,diesel,gas turbine, medium-speed diesel, gearbox, specific effective fuel consumption, efficiency, autonomy, specific gravity

S.P. Stolyarov, A.S. Stolyarov, A.V. Proleeva, O.M. Fedorov. On the vector of development of ship power plants//Morskoy Vestnik.. 2023. No. 4 (88). P. 40

It is shown that a diesel ship power plant will have an advantage over a gas turbine in terms of specific gravity with a cruising range of two days or more at full speed.T. 4. Fig. 1. Bibliography 27 titles.

UDC 620.9 **Keywords**: power plant, operating modes, electrical consumers, diesel generator set, modern computer technologies, automation, efficiency

V.V. Kamlyuk, I.O. Prutchikov, I.V. Grechushkin. Increasing the efficiency of power plants based on automation of control of their operating modes//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 45

An analysis was performed, trends and prospects for increasing the efficiency of power electrical installations were identified. Fig. 1. Bibliography 4 titles.

UDC 629.5.065.2 **Keywords**: manipulator crane, electro-hydraulic ship crane, telescopic boom

Yu.A. Lebedev, S.I. Pisar'kov. Features of the use of ship cranes//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 49

An analysis of the designs of a ship crane-manipulator is given. Generalized recommendations are given for the use of manipulator cranes in the design of ships. Fig. 4.

UDC 621.514.26 **Keywords**: compressor, rotary, refrigeration, import substitution, ship components

N.A. Kudla, A.V. Burakov, R.R. Khotsky. Creation of a promising compressor for ship refrigeration units//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 51

The enterprise's experience in the field of creating refrigeration compressor equipment is outlined, various designs of superchargers for use as refrigeration compressors are analyzed, taking into account their manufacturing technology.T. 3. Fig. 5. Bibliography 9 titles.

UDC 623.973 **Keywords**: low-frequency electromagnetic field, compensation system, electromagnetic induction, magnetic field induction meter, low-frequency electromagnetic field source, electromagnetic compensator

V.N. Grachyov, B.Yu. Semyonov. Technical aspects of the use of local electromagnetic compensators in ship systems for compensating low-frequency electromagnetic fields//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 57

An analysis of the possibility of using local electromagnetic compensators (EMCs) as part of automatic compensation systems (ASCs) for the low-frequency electromagnetic field of ships has been carried out, and the results of calculations of EMC parameters in relation to typical shipboard systems for compensation of ship electromagnetic

JDC 62.251 **Keywords**: reliability, propeller shaft, stern tube bearing, clearance, equation of three moments, elastic support, shafting

A.A. Khalyavkin, V.A. Gordon, D.O. Shatskov, A.V. Ivanovskaya. On the influence of wear on the stern tube bearing of a ship shafting on its performance condition// Morskoy Vestnik. 2023.No. 4 (88). P. 61

The influence of wear of the stern tube bearing on the operating condition of the propeller shaft of the ship's shaft line is considered.T. 1. Fig. 5. Bibliography 9 titles.

UDC 623.827 **Keywords**: fuel cell, parameters, air-independent power plant with an electrochemical generator (VNEU with ECG).

A. N. Dyadik, A. V. Yushkov. Calculated determination of the parameters of the fuel cell of an electrochemical generator//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 64

The operation of an air-independent power plant with an electrochemical generator (VNEU with ECG) is largely determined by the parameters of the fuel cells (FC). The general advantage of ECG on fuel cells is its high efficiency. In relation to offshore underwater objects (MSO), the noiseless operation of the power plant is of significant importance. Fig. 6. Bibliography 3 titles.

UDC 621.694 **Keywords**: steam-gas-water jet apparatus, propulsion, methane-air fuel, ammonia-air fuel, underheating of the mixture behind the diffuser, overheating of steam

V.V. Kozhemyakin, Yu.I. Raevskaya, D.P. Levsha, N.A. Morozov. The influence of operating parameters on the static characteristics of the propulsion injector//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 66

A propulsion system is considered, in which a steam-gaswater jet apparatus is used as a propulsion device. Studies have been carried out of the influence of underheating to saturation of the gas-water mixture at the outlet of the diffuser and overheating of steam at the inlet of the injector on static characteristics. Fig. 12. Bibliography 10 titles.

UDC 378.096 **Keywords**: Faculty of Marine Instrument Engineering, St. Petersburg State Marine Technical University, LKI, history, Faculty of Instrument Engineering, Department of Design and Production Technology of Marine Underwater Vehicles and Robots, Department of Marine Information Systems and Technologies, Department of Ship Automated Complexes and Information Control Systems, Department of Automatic Control Systems and on-board computer technology department of hydrophysical search tools.

A.G. Boyarsky, D.I. Kuznetsov, A.O. Madatyan. 90-year history of the development of the Faculty of Marine Instrumentation of SPbSMTU//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P.71

The article describes the historical period of the life of the faculty. The article is dedicated to the anniversary – the 90th anniversary of the Faculty of Marine Instrumentation. Fig. 6. Bibliography 2 titles.

UDC 621.396.67, 004.942 **Keywords**electrodynamic modeling, method of moments, active phased array antennas, gain, radiation pattern, noise immunity, surface wave, ionospheric wave

V.D. Pashkevich, V.M. Golubev, A.A. Pavlov, S.V. Rusin, Ya.A. Demidov. On methods for developing HF antenna systems. Part 1//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 77

Existing and promising methods for calculating quantitative indicators of elements of a HF radio communication network – antenna systems, the accuracy of calculations of which directly affects the quality of radio communications and the noise immunity of radio lines, are considered. The results of calculations and measurements, as well as an analysis of the main tactical and technical characteristics of antenna systems obtained by various methods are presented. Fig. 5.

UDC 681.391 **Keywords**: algorithm, noise-resistant coding, multi-position signals, radio communication line, autonomous navigation

E.I. Glushankov, S.A. Mityanin, E.A. Rylov. Analysis of the effectiveness of using noise-resistant coding and multi-position signals in radio communication lines of autonomous navigation systems//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88), P. 81

The effectiveness of the joint application of noiseresistant coding algorithms and multi-position signals in radio communication lines of autonomous navigation systems under conditions of additive white Gaussian noise is investigated. The potential effectiveness of the combined application of these methods for various values of the ratio of signal power to noise power is determined. Fig. 3. Bibliography 5 titles.

UDC 623.624.2 **Keywords**:radiowavepropagation,shortwave range, vertical sounding method, back-tilt sounding method, ionospheric channel radio forecasting

Yu.O. Baturin, A.A. Savatyugin. Increasing the efficiency of shortwave communications through the use of methods for operational forecasting of radio wave propagation//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 83

The results of an analysis of methods for predicting the propagation of radio waves in the short-wave range, which are based on methods of vertical and oblique sounding, are presented. The solutions proposed in the article make it possible to more optimally determine radio forecasting data of ionospheric channels based on the results of forecasting and analysis of the ionosphere and, most importantly, in real time. Fig. 3. Bibliography 23 titles.

UDC 629.5+ 621.391 **Keywords**: kamikaze drones, feature vectors, image processing, detection of moving objects

D.V. Vasil'yeva, S.A. Yakushenko, S.S. Dvornikov, A.A. Pogorelov, S.V. Dvornikov. Detection of sea drones in the optical range//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 90

The results of an analysis of the combat and technical characteristics of surface kamikaze drones of Ukraine are presented. The possibility of their detection was investigated using a developed approach based on assessing changes in the ratios of brightness pixels of images obtained from a video monitoring system in the form of histograms. Fig. 8. Bibliography 12 titles.

UDC 681.51 **Keywords**: intelligent control, nuclear power plant (NPP), mathematical apparatus, technical means control system, predictive control mode, preventive control mode

S.N. Surin, B.V. Grek. Experience in developing intelligent control systems for shipboard nuclear power plants//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 93

The experience of developing intelligent control of a ship's nuclear power plant (NPP) is described. Fig. 5. Bibliography 4 titles.

UDC 004.896 **Keywords**: management, control, diagnostics, information, model, fuzzy logic, architecture, unmanned boat, method

K.V. Lapshin. Features of control and assessment of the condition of technical control equipment for an uncrewed boat//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 99

The article discusses the methodological basis for the synthesis of intelligent technologies for monitoring and diagnosing the states of technical controls for an unmanned boat in real time. The article explores the possibility of using fuzzy logic methods and neural networks. The problem of multi-level recognition of the state of technical controls of an unmanned boat is considered. Fig. 2. Bibliography 8 titles.

UDC 621.039.52.034.6 **Keywords**: nuclear power plant (NPP), liquid metal coolant, mathematical modeling, functional modeling methodology IDEF0

A.A. Gorbachev, A.A. Ivanov, E.V. Sal'nikov. Analysis of the structural and functional integrity of a transport nuclear power plant with a liquid metal coolant using

the IDEFO functional modeling standard//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 103

It is shown that when designing technical systems, regardless of their purpose, mandatory design documents require structural diagrams used to define and describe the main functional parts of these systems and their interaction. Fig. 9. Bibliography 1 title.

UDC 62-519 **Keywords**: robot manipulator, control system design, EtherCAT protocol, digital twin, kinematic analysis

P.K. Smirnov, D.N. Mosichkin, V.V. Potekhin, E.I. Karaseva. The art of robotics: design and control of manipulators//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 107

An electric robotic manipulator has been designed and created to solve industrial automation problems. A concept for designing software parts of a control system is proposed. The advantages and disadvantages of the solutions used are described. Fig. 5. Bibliography 3 titles.

UDC 621.396.96 **Keywords**: navigation radar, radar signal simulator, mathematical model, IEC 62388 standard, STCW Code, standard course 1.07, signal power, video signal, receiver noise, point target echo signal

V.V. Efimov. Mathematical models for simulating video signals of navigation radars//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 111

An approach to the development of mathematical models of radar signals is presented, which makes it possible to create a simulator that is applicable simultaneously both when testing navigational radars according to the IEC 62388 standard, and when training navigators according to the STCW Code according to the standard course 1.07. T. 4. Fig. 6. Bibliography 6 titles.

UDC 627.77 **Keywords**: EPRON, rescue service, rescue operations, rescue equipment, rescue support, diving, submarine, rescue vessel, rescue, ship recovery

G.A. Grebenshchikova, V.S. Nikitin, V.N. Ilyukhin. The role and significance of the expedition of special underwater works in the development of ship-lifting, diving and rescue business in Russia. To the 100th anniversary of EPRON. Part 3//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 116

The article discusses the main conditions for the emergence and development of the Special Purpose Underwater Expedition (EPRON), as well as the main achievements at the stages of its development. The role of outstanding figures of science and practice of emergency rescue business in the achieve-ments of EPRON is shown. Fig. 3. Bibliography 18 titles.

UDC 623.8 **Keywords**: surface ship, guided missile weapons, ship design, People's Republic of China, military-technical cooperation.

O.V. Tret'yakov, D.Yu. Litinsky. Design, construction, testing and operation of surface ships of the first generation of the PLA Navy. Part 2//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 120

A retrospective analysis of the development of large surface ships of the PLA Navy was performed. The political, economic and military-technical conditions for the formation of the shipbuilding complex of the People's Republic of China are considered. An assessment is made of the degree of influence of subjective and objective factors on the formation of the technical appearance of surface missile-carrying ships of the PLA Navy, as well as on the pace and effectiveness of the introduction of quided missile weapons.T. 1. Fig. 8.

UDC 9 **Keywords**: Russian Empire, Peter I, West Indies, Tobago, banking, East Indies, Madagascar, piracy, slave trade, whaling, joint stock company

D.N. Kopelev. «Our longevity is not reliable»: did Peter the Great have a program of expansion in the World Ocean?//Morskoy Vestnik. 2023. No. 4 (88). P. 125

About the plans of Emperor Peter I for expansion in the World Ocean. Fig 1. Bibliography 8 titles.

