

4 Hz | 86 Hz | 170 Hz | 340 Hz | 679 Hz | 1.3 kHz | 2.6 kHz | 5.1 kHz | 10.1 kHz | 20 kHz

МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

110100100100100010101010110101010000110111000110010010010110011001100010 ISSN 2073-7173 (print)

0010100100101011110100110100100010111001001110010101001100100110001100 ISSN 2588-0233 (on line)

100100011110011011110010100110111001100101000110101001100110010101100010100100101011110100110

00101001011001100100110010011101100111000100110010010010101000011100110010011100010110100100100

0011010100110100100001011010010101000100100001111100110011001101101011001110000001110010100101

11011100110010101111001010101001010011010011100101100101001100101011110010101110010110100101

000011101010011110001010110010001110011011010010011011011001100101010011100101001100100100100

1100110001110010011000101001010011110101010100000101010001101011100110010001110010100100100100

0010100111001101001111000101001010111010100100000101010001101011100110010001110010100100100100



№ 1 том 1 2021
№ 1 part 1 2021



01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
110101100001010111101001010011011010101100010110101011010010100111010101 101001
10011010011011111001100100011000101001110100101011000110101011110101101 1010
01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000010 011





МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 1 том 1 2021 Сквозной номер 51

Тематика: кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление

О НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

На страницах журнала публикуются **новые** научные разработки, результаты исследований, методы, методики и технологии в области кораблестроения, информатики, вычислительной техники и управления.

Год основания – 2008. Периодичность издания - 4 номера в год. Форма выпуска: печатный, электронный. Язык текстов: русский, английский. Язык метаданных: русский, английский.

В журнале обязательно рецензирование статей ведущими специалистами по профилю статьи.

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в Перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук и в международную реферативную базу данных Web of Science (Emerging Sources Citation Index ESCI).

Инструкция по оформлению статьи и другие документы можно скачать с нашего сайта www.morintex.ru из раздела «для авторов». Аннотации выпусков журнала с 2008 по 2014 год и с № 3(25) 2014 полные выпуски размещены на сайте журнала <http://morintex.ru> в открытом доступе. Стоимость публикации включает: публикацию в журнале, электронное издание журнала, размещение в научной электронной библиотеке E-library и в Web of Science (Emerging Sources Citation Index ESCI). Для аспирантов публикации бесплатно.

Подписной индекс 99366 в объединенном каталоге «Пресса России».

Журнал распространяется посредством подписки и в редакции, а также на выставках, конференциях и симпозиумах.

Соответствие рубрик в научном журнале «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» номенклатуре научных специальностей ВАК, по которым присуждаются ученые степени

Шифр	Отрасль науки, группа специальностей	по которым присуждается ученая степень
05.08.00	Кораблестроение	
05.08.01	Теория корабля и строительная механика	Технические
05.08.03	Проектирование и конструкция судов	Технические
05.08.04	Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства	Технические, экономические
05.08.05	Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)	Технические
05.08.06	Физические поля корабля, океана, атмосферы и их взаимодействие	Технические, Физико-математические
05.13.00	Информатика, вычислительная техника и управление	
05.13.01	Системный анализ, управление и обработка информации	Технические, Физико-математические
05.13.06	Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)	Технические
05.13.10	Управление в социальных и экономических системах	Технические
05.13.11	Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей	Технические, Физико-математические
05.13.12	Системы автоматизации проектирования	Технические, Физико-математические
05.13.17	Теоретические основы информатики	Технические, Физико-математические
05.13.18	Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ	Технические, Физико-математические

Рукописи и документы к статье представляются в редакцию в электронном виде (e-mail: mit-journal@mail.ru)

Учредитель-издатель: Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»).

Свидетельства о регистрации СМИ ПИ № ФС77-32382 от 09.06.2008, Эл № ФС72-33245 от 19.09.2008 выданы Роскомнадзором.

Член Ассоциации научных редакторов и издателей.

Адрес: 190121 г. Санкт-Петербург, ул. Лощманская д.3.

Тел./факс +7 (812) 513-04-51, e-mail: mit-journal@mail.ru

бесплатный звонок по России 8 800 201 3897

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.

Мнение редакционного совета и членов редколлегии может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций.

Редакционная этика журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ». Редакционная деятельность научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» опирается, в частности, на рекомендации Комитета по этике научных публикаций, а также на ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

<http://morintex.ru/ru/nauchnyj-zhurnal/redakcionnaya-etika/>

Напечатано в центре полиграфии НИЦ «МОРИНТЕХ». Тираж 100 экз.

Дизайн: А.В. Антонов

Верстка: А.И. Соломонова

© ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ», 2021

ISSN 2073-7173 (print)
ISSN 2588-0233 (on line)



MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

(Morskie intelektual'nye tehnologii)

Scientific journal № 1 part 1 2021 www.morintex.ru

Subject: shipbuilding, computer science, computer engineering and management

ABOUT SCIENTIFIC JOURNAL «MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES»

New scientific developments, research results, methods, procedures and technologies in the area of ship building, information science, computer engineering and control are published in the journal.

The journal is included into the List of Supreme Attestation Commission of leading reviewed scientific magazines and editions, in which basic scientific results of theses for application of science-degrees of Doctor and Candidate of Science shall be published and in the international abstract Web of Science database (Emerging Sources Citation Index ESCI).

Frequency of publication - quarterly.

In the journal the articles shall be reviewed by leading specialists in the field of the article.

The journal is intended for a wide range of scientists and specialists, as well as heads of scientific research and design organizations, industry, educational institutions, navy, as well as teachers, postgraduate students and students of higher educational institutions.

The journal is circulated in Russia and abroad by subscription in Interregional Subscription Agency and in editorial office, as well as in exhibitions, conferences and symposiums.

Journal headings:

- Ship Building,
- Theory of Ship and Structures,
- Ship Designing and Structure,
- Technology of Ship Building,
- Ship Repair and Organization of Shipbuilding Production,
- Ship Power Plants and Their Elements (Main and Auxiliary),
- Physical Fields of Ship, Ocean, Atmosphere and Their Interaction); Information Science,
- Computer Engineering and Control System Analysis,
- Control and Processing of Information,
- Automation and Control of Processes and Productions,
- Control in Social and Economic Systems,
- Software for Computers,
- Complexes and Computer Networks,
- Designing Automation Systems,
- Foundations of Information Science,
- Mathematical Modelling, Numerical Procedures and Software Systems.

The journal is coming since 2008

Publication frequency - quarterly.

The journal is included into the system of Russian Science Citation Index u and into international abstract database Web of Science (Emerging Sources Citation Index (ESCI)).

Manuscripts are to be submitted to the editorial office in electronic form (E-mail: mit-journal@mail.ru)

Founder-Publisher: Research Centre "Marine Intelligent Technologies".

Registration Certificate: ПИ № ФС77-32382 of 09.06.2008, Эл № ФС72-33245 of 19.09.2008 issued by Roskomnadzor.

Member of Association of science editors and publishers.

Address: Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg, 190121, Russian Federation

Phone/fax +7 (812) 513-04-51

e-mail: mit-journal@mail.ru

The journal is included into the list of periodicals recommended for publishing doctoral research results <http://vak.ed.gov.ru>

Printed in the Printing-House of Research Centre "Marine Intelligent Technologies". Circulation of 100 copies.

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 office.

Opinion of editorial staff and editorial board may not coincide with those of the authors of publications

Editorial ethics of the scientific journal «MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES»

EDITORIAL BOARD of the Scientific Journal «Marine Intellectual Technologies» bases its work, in particular, on the guidelines of the Committee of Publication Ethics, as well as on the practices of influential international journals and publishers.

<http://morintex.ru/en/nauchnyj-zhurnal/redakcionnaya-etika/>

Design: A.V. Antonov

Page-proofs: A.I. Solomonova

© RESEARCH CENTRE «MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES» Ltd, 2021



ISSN 2073-7173 (print)
ISSN 2588-0233 (on line)

МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

www.morintex.ru

Тематика: кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление

Главный редактор:

Н.В. Никитин, д.т.н., профессор

Редакционная коллегия

Заместители главного редактора

А.И. Гайкович, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Д.А. Скороходов, д.т.н., профессор, Институт проблем транспорта РАН, Санкт-Петербург

А.И. Фрумен, к.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

П.А. Шауб, д.т.н., профессор, Центр технологии судостроения и судоремонта, Санкт-Петербург

Члены редколлегии

А.В. Алексеев, д.т.н., профессор Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Р.В. Борисов д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург

Ю.А. Власов, к.ф.-м.н., преподаватель, Флоридский Международный Университет, Майами, США

М.В. Войлошников, д.т.н., профессор, Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

А.Ш. Готман, д.т.н., профессор, Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск

А.Н. Дядик, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

В.А. Евтеев, д.т.н., Объединенная судостроительная корпорация, Санкт-Петербург

Ю.И. Нечаев, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург

Ф.Ф. Легуша, д.ф.-м.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

В.В. Родионов, к.т.н, с.н.с., ЗАО «Си Проект», Санкт-Петербург

В.Ю. Семенова, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский морской государственный университет, Санкт-Петербург

Н.А Тарануха, д.т.н., профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Комсомольск-на-Амуре

Ю.С. Федосенко, д.т.н., профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород

Редакционный совет

Сопредседатели

И.Г. Захаров, д.т.н., профессор, заместитель генерального директора ЦМКБ «Алмаз», Санкт-Петербург

Г.А. Туричин, д.т.н., Ректор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург

Члены редакционного совета

Е.М. Апполонов, д.т.н. генеральный директор, "ЦКБ "Лазурит", Нижний Новгород

А.И. Гайкович, д.т.н., профессор, генеральный директор, НИЦ "МОРИНТЕХ», Санкт-Петербург

И.Г. Малыгин, д.т.н., профессор, директор, Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, Санкт-Петербург

Г.Н. Муру, к.т.н., исполнительный директор, 51 ЦКТИ судоремонта, Санкт-Петербург

Д.В. Никущенко, д.т.н., проректор по научной работе, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург

С.А. Огай, д.т.н., Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

Одд М. Фалтинсен, профессор, Норвежский университет науки и технологии, Норвегия

Пентти Куяла, профессор, университет Аалто, Финляндия

В.Н. Половинкин, д.т.н., профессор, референт генерального директора, ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург

К.В. Рождественский, д.т.н., профессор, проректор по международному сотрудничеству, Санкт-Петербургский государственный морской

технический университет, Санкт-Петербург

С.П. Столяров, к.т.н., профессор, декан факультета корабельной энергетики и автоматики, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург



ISSN 2073-7173 (print)
ISSN 2588-0233 (on line)

MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

(Morskie intellektual'nye tehnologii)

www.morintex.ru

Subject: shipbuilding, computer science, computer engineering and management

Chief Editor

N.V. Nikitin, Dr. Sci. (Eng.), Professor

Editorial Staff

Deputy Chief Editors

A.I. Gaykovich, Dr. Sci. (Eng.), Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia
D.A. Skorokhodov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Institute of Transportation Problems of the Russian Academy of Science, St. Petersburg, Russia

A.I. Frumen, PhD, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

P.A. Shaub, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Shipbuilding & Shiprepair Technology Center, St. Petersburg, Russia

Members of Editorial Staff

A.V. Alekseev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

R.V. Borisov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

Yu.A. Vlasov, Cand. Sci. (Phys & Math), Adjunct Professor, Florida International University, Miami, FL, USA

M.V. Voyloshnikov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Maritime state university named Admiral Nevelskoi, Vladivostok, Russia

A.Sh. Gotman, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Siberia State University of water transport, Novosibirsk, Russia

A.N. Dyadik, Dr. Sci. (Eng.), Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

V.A. Evteev, Dr. Sci. (Eng.), United Shipbuilding Corporation, St. Petersburg, Russia

F.F. Legusha, Dr. Sci. (Phys. & Math.), professor, State marine technical university of Saint-Petersburg, St. Petersburg, Russia

Yu.I. Nechayev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

V.V. Rodionov, Cand. Sci. (Eng), Senior Research Scientist, CJSC "Sea Project", St. Petersburg, Russia

V.Yu. Semenova, Dr. Sci. (Eng.), Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

N.A. Taranukha, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Komsomolsk-on-Amur, Russia

Yu.S. Fedosenko, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia.

Editorial Board

Co-chairmen

I.G. Zakharov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Vice-CEO ZMKB "Almaz", St. Petersburg, Russia

G.A. Turichin, Dr. Sci. (Eng.), Rector, Saint-Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

Council Members

E.M. Appolonov, Dr. Sci. (Eng.), General Director, Lazurit Central Design Bureau JSC, Nizhny Novgorod, Russia

A.I. Gajkovich, Dr. Sci. (Eng.), Professor, CEO, Research Centre "Marine Intelligent Technologies", St. Petersburg, Russia

I.G. Malygin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, CEO, Institute of Transportation Problems of the Russian Academy of Science, St. Petersburg, Russia

G.N. Muru, Cand. Sci. (Eng), Executive Director, 51 CCIS, St. Petersburg, Russia

D.V. Nikushchenko, Dr. Sci. (Eng.), Vice-Rector for Research, Saint-Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

S.A. Ogai, Doctor of Engineering, Associate professor, Maritime state university named Admiral Nevelskoi, Vladivostok, Russia

Odd M. Faltinsen, Professor, Norwegian University of Science and Technology, Norway

Pentti Kujala, Professor, Aalto University, Finland

V.N. Polovinkin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Assistant Director General, Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

K.V. Rozhdestvenskij, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Vice-Rector for International Science & Education, Saint-Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

S.P. Stoljarov, Cand. Sci. (Eng), Professor, Dean of the Faculty of naval power and automation, Saint-Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА
ВЫРАЖАЕТ ИСКРЕННЮЮ БЛАГОДАРНОСТЬ
РЕЦЕНЗЕНТАМ ЭТОГО НОМЕРА:**

- **Сергей Павлович Глушков**, доктор технических наук, профессор, Сибирский государственный университет водного транспорта,
- **Александр Александрович Родионов**, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
- **Олег Николаевич Петров**, кандидат технических наук, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
- **Геннадий Петрович Кича**, доктор технических наук, профессор, Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
- **Иван Борисович Друзь**, доктор технических наук, профессор, Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
- **Сергей Валентинович Чехранов**, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет
- **Дмитрий Алексеевич Скороходов**, доктор технических наук, профессор, Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук
- **Сергей Павлович Столяров**, кандидат технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
- **Николай Яковлевич Синявский**, доктор физико-математических наук, профессор, Калининградский государственный технический университет
- **Владимир Ильич Комашинский**, доктор технических наук, Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук
- **Юрий Павлович Потехин**, кандидат технических наук, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
- **Алексей Валерьевич Соловьев**, доктор технических наук, Российский Речной Регистр Верхне-Волжский Филиал
- **Александр Иосифович Гайкович**, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
- **Александр Олегович Токарев**, доктор технических наук, Сибирский государственный университет водного транспорта
- **Рудольф Васильевич Борисов**, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет
- **Степан Юрьевич Маламанов**, доктор физико-математических наук, профессор, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Устинова

**EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL
EXPRESSES SINCERE GRATITUDE
TO THE REVIEWERS OF THIS ISSUE:**

- **Sergei P. Glushkov**, Dr.Sci.(Eng), Professor, Siberian State University of Water Transport
- **Alexander A. Rodionov**, Dr.Sci.(Eng), professor, State marine technical university of Saint-Petersburg
- **Oleg N. Petrov**, Ph.D. (Eng), State marine technical university of Saint-Petersburg
- **Gennady P. Kicha**, Professor, Dr.Sci.(Eng), Maritime state university named Admiral G. Nevelskoi
- **Ivan B. Druz**, Dr.Sci.(Eng), professor, Maritime state university named Admiral G. Nevelskoi
- **Sergei V. Chekhranov**, Dr.Sci.(Eng), Professor, Far Eastern State Technical Fisheries University
- **Dmitriy A. Skorohodov**, Dr.Sci. (Eng), professor, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science,
- **Sergei P. Stoljarov**, Ph.D. (Eng), State marine technical university of Saint-Petersburg
- **Nikolay Ya. Sinyavsky**, Dr. Sci. (Phys & Math), ProfessorKaliningrad State Technical University
- **Vladimir I. Komashinsky**, Dr.Sci.(Eng), Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science
- **Yuri P. Potekhin**, Ph.D. (Eng), Saint Petersburg State Marine Technical University
- **Alexey V. Solovev**, Dr. Sci. (Eng), Russian River Register Upper Volga branch
- **Aleksandr I. Gaikovich**, Dr. Sci. (Eng), Professor, St. Petersburg State Marine Technical University
- **Alexander O. Tokarev**, Dr.Sci.(Eng), Siberian State University of Water Transport
- **Rudolf V. Borisov**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia
- **Stepan Y. Malamanov**, Dr. Sci. (Phys & Math.), Professor, Baltic State Technical University "VOENMEH" named after Ustinova.



51 центральный конструкторско-технологический институт судоремонта

Санкт-Петербург
190000, Английская наб., д. 38
Тел./факс: (812) 315 4945

Санкт-Петербург, Ломоносов
198412, ул. Михайловская, д. 14
Тел./факс: (812) 423 1600

Выполнение функций проектанта по более чем 120 проектам кораблей и судов ВМФ иностранной постройки.

Разработка технической документации для обеспечения модернизации, ремонта и сервисного обслуживания кораблей и судов ВМФ.

Разработка документов по стандартизации (ГОСТ РВ, ОСТВ и др.).

Сбор и хранение копий технических условий на продукцию, разработанную по заказам Минобороны России и поставка их исполнителям ГОЗ.



СОДЕРЖАНИЕ	стр
ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА	
Корягин С.И., Шарков О.В., Великанов Н.Л. Напряженно-деформированное состояние судовых корпусных конструкций восстановленных с помощью полимерного покрытия.....	12
ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
Корягин С.И., Шарков О.В., Великанов Н.Л. Влияние полимерных покрытий на обледенение судовых конструкций.....	18
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)	
Сатаев А.А., Чесноков С.А., Новиков Д.И., Андреев В.В. Методика исследования теплогидравлических процессов при воздействии внешних динамических сил.....	23
Мурамович В.В., Каминский В.Ю., Турусов С.Н. Экологический эффект молекулярной деструкции отработавших газов двигателей внутреннего сгорания.....	31
ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КОРАБЛЯ, ОКЕАНА, АТМОСФЕРЫ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ	
Фахми Ш.С., Горяинов С.В., Калач А.В. Гидролокация с использованием хаотических зондирующих сигналов.....	36
Истомин В.И., Цалоев В.М., Хлебникова В.В., Тверская С.В. Повышение безопасности судовождения при плавании судна на мелководье.....	41
Королёв О.А., Фахми Ш.С., Костикова Е.В. Кодирование без потерь и передача изображений морских судов в условиях ограничения канала связи.....	45
УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
Каминский В.Ю., Скороходов Д.А., Маринов М.Л. Систематизация экологических факторов среды обитания судового экипажа.....	53
Малыгин И.Г., Королев О.А. Высокоскоростной алгоритм передачи видеoinформации о чрезвычайных ситуациях на объектах транспорта.....	64
АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ	
Соловьев А.В., Чернышов А.В., Чиркова М.М. Информационное обеспечение системы управления судном.....	71
Кузнецов А.Л., Галин А.В., Щербакова-Слюсаренко В.Н., Попов Г.Б. Сравнительный анализ показателей эффективности автоматизированных и неавтоматизированных контейнерных терминалов.....	76
Таранцев А.А., Ищенко А.Д., Таранцев А.А. Обоснование инновационного способа тушения пожара на объектах инфраструктуры в условиях низких температур.....	84
УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	
Стуканова С.С., Стуканова И.П., Агафонов А.В. Качественные характеристики образовательной среды подготовки кадров морских и судостроительных профессий.....	90
Исаев А.А., Исаева Л.А. Обеспечение конкурентоспособности товаров: биокибернетический аспект.....	97
Яфасов А.Я., Кострикова Н.А. Концептуальные подходы к переходу рыбной отрасли России в цифровую экономику.....	102
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ	
Мелехин В.Б., Хачумов М.В. Вывод сложных суждений как инструмент понятийного мышления интеллектуальных мобильных систем.....	111
Скороходов Д.А., Крылов Ю.Е., Стариченков А.Л. Основные принципы системных исследований судна на подводных крыльях.....	118

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

Балакин А.В., Дядик А.Н., Кармазин А.С., Ларионов М.В., Сури́н С.Н. Моделирование функционирования регулятора давления в топливном процессоре воздухонезависимой энергетической установки.....	126
Недоступ А.А., Ражев А.О. Создание правил мультифизического подобия тралового комплекса....	132

CONTENTS	page
THEORY OF SHIP AND STRUCTURES	
Sergey I. Koryagin, Oleg V. Sharkov, Nikolay L. Velikanov Stress-strain state of ship hull structures restored using polymer coating.....	12
SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING PRODUCTION	
Sergey I. Koryagin, Oleg V. Sharkov, Nikolay L. Velikanov Influence of polymer coatings on icing of ship structures.....	18
SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)	
Aleksandr A. Sataev, Sergei A. Chesnokov, Denis I. Novikov, Vyacheslav V. Andreev Methodology of investigation of thermal-hydraulic processes under the influence of external dynamic forces.....	23
Valeriya V. Muramovich, Valery Yu. Kaminsky, Sergey N. Turusov. Environmental effect of molecular degradation of internal combustion engine exhaust gases.....	31
PHYSICAL FIELDS OF SHIP, OCEAN, ATMOSPHERE AND THEIR INTERACTION	
Shakeeb S. Fahmi, Sergey V. Goryainov, Andrew V. Kalach, Vladimir A. Aksenov Sonar using chaotic sounding signals.....	36
Valeriy I. Istomin, Vladimir M. Tsaloev, Viktoria V. Hlebnikova, Svetlana E. Tverskaya Improving the safety of navigation when navigating a vessel in shallow water.....	41
Oleg A. Korolev, Shakeeb S. Fahmi, Elena V. Kostikova The lossless encoding and transmission of ships images in the conditions of limited channel.....	45
CONTROL AND PROCESSING OF INFORMATION	
Valery Yu. Kaminsky, Dmitriy A. Skorokhodov, Marin L. Marinov. Systematization of environmental factors of the environment ship's crew.....	53
Igor G. Malygin, Oleg A. Korolev High-speed algorithm for transmitting video information about emergency situations on transport objects.....	64
AUTOMATION AND CONTROL OF PROCESSES AND PRODUCTIONS	
Alexey V. Solovev, Andrey V. Chernyshov, Margarita M. Chirkova Data support of ship's control system.....	71
Aleksandr L. Kuznetsov, Aleksandr V. Galin, Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko, German B. Popov Benchmarking analysis for automated and non-automated container terminals.....	76
Alexander A. Tarantsev, Andrey D. Ishchenko, Andrey A. Tarantsev On the justification of an innovative method of extinguishing a fire at infrastructure facilities in low temperature conditions.....	84
CONTROL IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS	
Sofia S. Stukanova, Irina P. Stukanova, Alekander V. Agafonov Qualitative characteristics of educational environment for marine and shipbuilding professionals training.....	90
Alexander A. Isaev, Liudmila A. Isaeva Ensuring the competitiveness of goods: the biocybernetic aspect.....	97
Abdurashid Y. Yafasov, Natalya A. Kostrikova Conceptual approaches to the transition of the Russian fishing industry into the digital economy.....	102
FOUNDATIONS OF INFORMATION SCIENCE	
Vladimir B. Melekhin, Mikhail V. Khachumov Derivation of complex judgments as a tool for conceptual thinking of intelligent mobile systems.....	111
Dmitriy A. Skorokhodov, Yuriy E. Krylov, Aleksey L. Starichenkov Basic principles of systems research hydrofoil craft.....	118

MATHEMATICAL MODELLING, NUMERICAL PROCEDURES AND SOFTWARE SYSTEMS

Alexej V. Balakin, Aleksander N. Dyadik, Andrej S. Karmazin, Mihail V. Larionov, Sergej N. Surin Modeling functioning of the pressure regulator in the fuel processor of the air-independent power plant.....	126
Alexander. A. Nedostup, Aleksey. O. Razhev Creation of the rules of multiphysical similarity by a trawl complex.....	132

ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

УДК 629.5:539.42

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.001

Напряженно-деформированное состояние судовых корпусных конструкций восстановленных с помощью полимерного покрытия

С.И. Корягин¹ e-mail: skoryagin@kantiana.ru, О.В. Шарков¹ e-mail: osharkov@kantiana.ru,
Н.Л. Великанов¹ e-mail: nvelikanov@kantiana.ru¹Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта

Аннотация. Применение полимерных покрытий для ремонта корпусных конструкций выдвигает как актуальную задачу определения прочностных характеристик конструкций с покрытиями. Наличие отверстий, сквозной коррозии, являющихся концентраторами напряжений, делает эти места наиболее опасными, с точки зрения потери прочности, герметичности. Чаще всего разрушение происходит по адгезионному слою. Представлена математическая модель, учитывающая сосредоточенные усилия на концах адгезионного слоя композиционной конструкции типа «металл-покрытие». Проведены расчеты нормальных и касательных напряжений. Наибольшие значения напряжений в полимерном покрытии получены на кромке отверстия в слое металла. В результате анализа установлено, что увеличение перекрытия полимерным покрытием контура отверстия и удаленность от контура отверстия приводят к существенному уменьшению величин напряжений. Разработанная математическая модель и алгоритм вычислений позволяют расчетным путем определить напряженно-деформированное состояние металлической конструкции с отверстием и полимерным покрытием.

Ключевые слова: судовые корпусные конструкции, сквозная коррозия, перекрытие контура отверстия, полимерное покрытие.

Stress-strain state of ship hull structures restored using polymer coating

Sergey I. Koryagin¹ mail: skoryagin@kantiana.ru, Oleg V. Sharkov¹ e-mail: osharkov@kantiana.ru,
Nikolay L. Velikanov¹ e-mail: nvelikanov@kantiana.ru¹Immanuel Kant Baltic Federal University

Abstract. The use of polymer coatings for the repair of hull structures puts forward as an urgent task to determine the strength characteristics of structures with coatings. The presence of holes, through corrosion, which are stress concentrators, makes these places the most dangerous, in terms of loss of strength, tightness. Most often, the destruction occurs along the adhesive layer. A mathematical model is presented that takes into account the concentrated forces at the ends of the adhesive layer of a composite structure of the "metal-coating" type. Calculations of normal and tangential stresses are performed. The highest stress values in the polymer coating are obtained at the edge of the hole in the metal layer. As a result of the analysis, it was found that an increase in the overlap of the polymer coating of the hole contour and the distance from the hole contour lead to a significant decrease in stress values. The developed mathematical model and calculation algorithm allow calculating the stress-strain state of a metal structure with a hole and a polymer coating.

Key words: ship hull structures, through corrosion, overlapping of the hole contour, polymer coating.

Введение

Опыт эксплуатации судов показал, что объем работ по восстановлению судовых металлических конструкций в значительной степени определяется их коррозией [1-6].

Например, при эксплуатации судов типа БМРТ в районах, температурный режим и влажность которых создают благоприятные условия для коррозии элементов, в течении 5...6 лет появляется необходимость восстановления несущей способности элементов металлических конструкций, ввиду их чрезмерной коррозии до 0,8 мм/год, которая в особых случаях достигает 1,2...1,4 мм/год.

Под воздействием неблагоприятных факторов внешней среды, таких как атмосферная влага, морская вода, отходы рыбопродуктов, дезинфицирующие средства, нефтепродукты и др., судовые металлические конструкции подвергаются коррозии (ржавлению).

Наиболее опасным последствием коррозии судовых конструкций является сквозное проржавление. В результате этого происходит не только ухудшение эксплуатационных характеристик и снижение несущей способности собственно

конкретной конструкций, но и преждевременный выход из эксплуатации судна в целом.

Одним из эффективных методов восстановления судовых корпусных конструкций является использование покрытий из полимерных материалов [7-12].

Несмотря на многочисленные исследования в этой области [13-19], функциональные возможности и напряженно-деформированное состояние такого рода покрытий, применительно к судовым конструкциям, изучены еще недостаточно, особенно для конкретных видов коррозии.

В данной статье приведены результаты исследования напряженного состояния судовых корпусных конструкций с отверстием, заформованным полимерным покрытием.

1. Современное состояние вопроса

1.1. Расчетная схема судовой композитной конструкции

Рассмотрим металлическую судовую корпусную конструкцию толщиной δ_2 со сквозным проржавлением (отверстием) диаметром d ,

покрытую полимерным материалом толщиной δ_1 (рис.1).

Большинство корпусных судовых конструкций образовано криволинейными поверхностями с большим радиусом кривизны R (рис. 1,а).

Примем во внимание, что размер полимерного покрытия l должен приниматься в зависимости от номинального диаметра отверстия в рекомендуемых пределах $l = (5...10)d$. Тогда с учетом $d \ll R$ расчетную схему можно свести к прямолинейной поверхности с отверстием (рис.1,б).

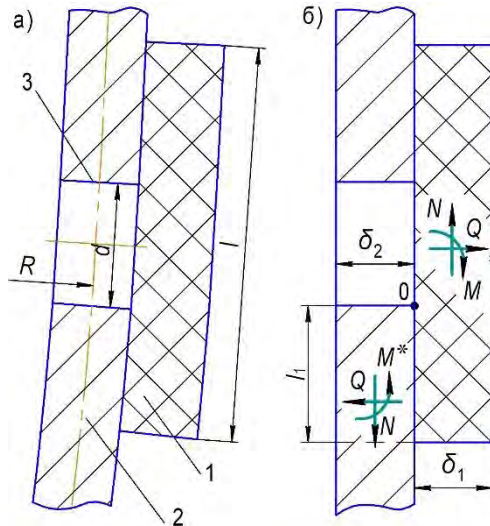


Рис. 1. Расчетная схема композитной конструкции: 1 – полимерное покрытие; 2 – судовой корпусной элемент; 3 – отверстие.

При составлении расчетной схемы выделим участок соединения корпусной судовой конструкции (основы) с полимерным покрытием на границе отверстия (точка 0). Рассматриваемый участок находится под действием внешних усилий, расположенных на некотором удалении от этого соединения (рис. 1,б). Пусть около адгезионного слоя в покрытии действуют: осевое усилие N , перерезывающая сила Q и изгибающий момент M , а в основе, соответственно – N , Q и M^* .

Разделим элементы композиционной конструкции (рис. 2 и 3) и введем в адгезионном слое нормальные напряжения отрыва $\sigma(x)$ и касательные напряжения $\tau(x)$.

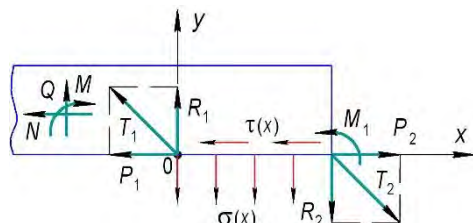


Рис. 2. Конструктивный элемент полимерного покрытия.

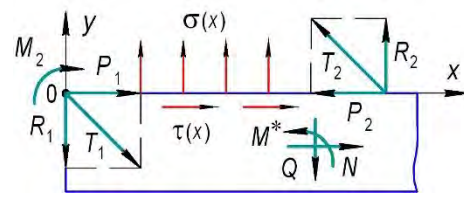


Рис. 3. Конструктивный элемент судовой корпуса.

Кроме того, для соблюдения условий равновесия и совместного деформирования элементов основы и покрытия введем на концах адгезионного слоя сосредоточенные усилия T_1 , T_2 и сосредоточенные моменты M_1 и M_2 .

1.2. Математическая модель

Изгибающий момент M^* связан условием равновесия композиционной конструкции с осевым усилием N , перерезывающей силой Q и изгибающим моментом M , которое можно записать в виде $M^* = M + Ql_1 - 0.5N(\delta_1 + \delta_2)$. (1)

Составляющие сосредоточенных усилий, введенные на концах адгезионного слоя композиционной конструкции типа «металл-покрытие», определяем из условий равновесия элементов этой конструкции и условий их совместного деформирования:

$$\begin{cases} R_1 = \frac{1}{l_1} \left(N \frac{\delta_1}{2} + M_1 - M - Ql_1 + \int_0^{l_1} \sigma(t)(l_1 - t) dt \right); \\ R_2 = \frac{1}{l_1} \left(N \frac{\delta_1}{2} + M_1 - M - \int_0^{l_1} \sigma(t) t dt \right); \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} M_1 = M - N \frac{\delta_1}{2} + \frac{a_1}{2a_2} \int_0^{l_1} \tau(t) dt + \frac{Ql_1}{a_2 E_2 \delta_2^3}; \\ M_2 = M \frac{E_2 \delta_2^3}{E_1 \delta_1^3}; \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} P_1 = \frac{2}{a_1} \left(\frac{M}{E_1 \delta_1^3} - \frac{M}{E_2 \delta_2^3} \right); \\ P_2 = P_1 + N - \int_0^{l_1} \tau(t) dt. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь: $a_1 = \frac{E_1 \delta_1^2 - E_2 \delta_2^2}{2E_1 E_2 \delta_1^2 \delta_2^2}$; $a_2 = \frac{E_1 \delta_1^3 + E_2 \delta_2^3}{E_1 E_2 \delta_1^3 \delta_2^3}$.

Условия (2) и (4) соответствуют условиям равновесия элементов листовой композиционной конструкции, а условия (3) выражают собой равенство радиусов кривизны элементов на концах адгезионного слоя.

В сечениях конструктивных элементов, составляющих композиционную конструкцию, действуют внутренние силовые факторы – осевые усилия и изгибающие моменты.

Определяем величину этих внутренних силовых факторов, применив метод сечений [20-21].

В сечениях элемента из полимерного покрытия будем иметь:

$$\begin{cases} N_{\Pi} = P_1 + N + \int_0^x \tau(t) dt; \\ M_{\Pi} = M + P_1 \frac{\delta_1}{2} + (R_1 + Q)x - \\ - \int_0^x \sigma(t)(x-t) dt + \frac{\delta_1}{2} \int_0^x \tau(t) dt. \end{cases} \quad (5)$$

В сечениях судового элемента из металла получим:

$$\begin{cases} N_M = -P_1 - \int_0^x \tau(t) dt; \\ M_M = M_1 + P_1 \frac{\delta_2}{2} - R_1 x + \\ + \int_0^x \sigma(t)(x-t) dt + \frac{\delta_2}{2} \int_0^x \tau(t) dt. \end{cases} \quad (6)$$

В соответствии со значениями внутренних факторов [20] запишем выражения для определения радиусов кривизны элементов композиционной конструкции как $1/12\rho_{\Pi} = M_{\Pi}/E_1\delta_1^3$ и $1/12\rho_M = M_M/E_2\delta_2^3$.

Для определения линейных деформаций ε_x , возникающих в адгезионном слое, выражения можно записать как $\varepsilon_{x\Pi} = \frac{6M_{\Pi}}{E_1\delta_1^2} + \frac{N_{\Pi}}{E_1\delta_1} - \frac{\mu_1\sigma(x)}{E_1}$ и

$$\varepsilon_{xM} = \frac{6M_M}{E_2\delta_2^2} + \frac{N_M}{E_2\delta_2} - \frac{\mu_2\sigma(x)}{E_2}.$$

Приравнявая радиусы кривизны элементов композиционной конструкции и линейные деформации этих элементов в адгезионном слое, получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{M_{\Pi}}{E_1\delta_1^3} - \frac{M_M}{E_2\delta_2^3} = 0; \\ \left(\frac{M_{\Pi}}{E_1\delta_1^2} - \frac{M_M}{E_2\delta_2^2} \right) + \frac{N_{\Pi}}{E_1\delta_1} - \frac{N_M}{E_2\delta_2} = \\ = \frac{6M_M}{E_2\delta_2^2} + \frac{N_{\Pi}}{E_2\delta_2} - \frac{\mu_2 E_1 - \mu_1 E_2}{E_1 E_2} \sigma(x). \end{cases} \quad (7)$$

1.3. Методика решения системы уравнений

Решим систему уравнений (7) с учетом выражений для внутренних силовых факторов, действующих в элементах композиционной конструкции (5) и (6).

Дополнительно введем следующие обозначения:

$$a_3 = \frac{\mu_2 E_1 - E_2 \mu_1}{E_1 E_2}; \quad a_4 = \frac{4(E_1 \delta_1 + E_2 \delta_2)}{E_1 E_2 \delta_1 \delta_2};$$

$$a_5 = \frac{6M}{E_1 \delta_1^2} + a_3 P_1 + \frac{6M}{E_2 \delta_2^2} + \frac{N}{E_1 \delta_1}.$$

Тогда систему уравнений (7) можно записать:

$$\begin{cases} a_3 \sigma(x) + 6a_1 \int_0^x \sigma(t)(x-t) dt + \\ + a_4 \int_0^x \tau(t) dt + 6x \left(\frac{Q}{E\delta_1^2} - a_1 R_1 \right) + a_5 = 0; \\ a_2 \int_0^x \sigma(t)(x-t) dt + \frac{a_1}{2} \int_0^x \tau(t) dt - \\ - x \left(\frac{Q}{E\delta_1^3} - a_2 R_1 \right) x = 0. \end{cases} \quad (8)$$

В результате получаем систему интегральных уравнений, описывающих нормальные $\sigma(x)$ и касательные $\tau(x)$ напряжения, возникающие в адгезионном слое.

Исключаем из этой системы уравнений касательные напряжения $\tau(x)$ и получаем интегральное уравнение относительно нормальных напряжений отрыва $\sigma(x)$

$$\frac{a_1 a_3}{2} \sigma(x) + (3a_3^2 - a_2 a_4) \int_0^x \sigma(t)(x-t) dt + \\ + x[(a_2 a_4 - 3a_1^2) R_1 + kQ] + \frac{a_1 a_5}{2} = 0 \quad (9)$$

$$\text{где } k = \frac{3a_1 \delta_1 - a_4}{E_1 \delta_1^3}.$$

Уравнение (9) преобразуем путем введения следующих обозначений:

$$k_1^2 = \frac{2(a_2 a_4 - 3a_1^2)}{a_1 a_3}, \quad k_2 = \frac{a_5}{a_3}.$$

В результате получаем уравнение относительно нормальных напряжений $\sigma(x)$:

$$\sigma(x) - k_2^2 \int_0^x \sigma(t)(x-t) dt + x(k_1^2 R_1 + KQ) + k_2 = 0. \quad (10)$$

Продифференцируем уравнение (10) по x :

$$\sigma'(x) - K_1^2 \int_0^x \sigma(t)(x-t) dt + K_1^2 R_1 + KQ = 0. \quad (11)$$

После двойного дифференцирования уравнения (10) получаем дифференциальное уравнение второго порядка относительно $\sigma(x)$:

$$\sigma''(x) - k_1^2 \sigma(x) = 0. \quad (12)$$

Общее решение этого уравнения имеет вид:

$$\sigma(x) = C_1 e^{kx} + C_2 e^{-kx}. \quad (13)$$

Постоянные C_1 и C_2 определяем из уравнений (10) и (11).

Подстановка общего решения в уравнение (11) дает

$$C_1 - C_2 = -k_1 R_1 - \frac{kQ}{k_1}. \quad (14)$$

Учитывая, что проекция R_1 зависит от напряжений $\sigma(x)$, получаем следующее уравнение относительно постоянных C_1 и C_2 :

$$C_1 \left(\frac{e^{kx}}{k} - \frac{1}{l_1 k} + \frac{k a_1 D_1}{2 a_2} e^{k l_1} \right) \frac{1}{l_1} + C_2 \left(\frac{e^{-k l_1}}{k} - \frac{1}{l_1 k} + \frac{k a_1 D_1}{2 a_2} e^{-k l_1} \right) \frac{1}{l_1} = , \quad (15)$$

$$= -k \left(\frac{Q l_1}{a_2 E_2 \delta_2^3} + Q l_1 + \frac{a_1 D_2}{2 a_2} \right) \frac{1}{l_1} - \frac{k}{k_1} Q$$

где $D_1 = -\frac{a_2 a_3 E_1 \delta_1^2}{3 a_1 \left(3 - \frac{a_4}{a_1 \delta_1} \right)}$;

$$D_2 = -\frac{a_2 E_1 \delta_1^2 \left[D_3 + 6 Q l_1 \left(\frac{1}{E_2 \delta_2^3} - \frac{a_1}{a_2 E_2 \delta_2^3} \right) \right]}{3 a_1 \left(3 - \frac{a_4}{a_1 \delta_1} \right)}$$

$$D_3 = \frac{2 M}{E_1 \delta_1^2} \left(3 - \frac{a_4}{a_1 \delta_1} \right) + \frac{N}{E_1 \delta_1} + \frac{2}{E_2 \delta_2^2} \left(3 - \frac{a_4}{a_1 \delta_1} \right) \left(M - \frac{\delta_1}{2} N + \frac{Q l_1}{a_2 E_2 \delta_2^3} \right)$$

Второе уравнение относительно постоянных C_1 и C_2 получаем после подстановки решения уравнения (13) в интегральное уравнение (10) в виде $C_1 + C_2 = k_2$.

$$C_1 \left(1 + \frac{a_1 D_1 D_4}{2 a_2 a_3} e^{k l_2} \right) - C_2 \left(1 + \frac{a_1 D_1 D_4}{2 a_2 a_3} e^{-k l_1} \right) = -\frac{1}{a_1} \left(D_3 - \frac{a_1 D_2 D_4}{2 a_2} \right) , \quad (16)$$

где $D_4 = \frac{2}{E_2 \delta_2^2} \left(3 - \frac{a_4}{a_1 \delta_2} \right)$.

Уравнения (15) и (16) определяют постоянные C_1 и C_2 . После их решения величина нормальных напряжений $\sigma(x)$ определяется по формуле (14), а касательных напряжений $\tau(x)$ определяется после дифференцирования второго уравнения системы (8)

$$\tau(x) = \frac{2 a_2}{a_1} \int_0^x \sigma(t) dt + \frac{2}{a_1} \left(a_2 R_1 + \frac{Q}{E_1 \delta_1^3} \right) = 0 . \quad (17)$$

2. Анализ результатов расчетов

На рис. 4 и 5 представлены кривые, показывающие изменение соответственно нормальных σ и касательных τ напряжений по длине полимерного покрытия x в зависимости от величины перекрытия полимерным покрытием контура отверстия l_1 .

Расчеты выполнены по математическим зависимостям (9)–(16) для случая сосредоточенной нагрузки. В случае действия распределенной нагрузки характер изменения напряжений носит аналогичный характер.

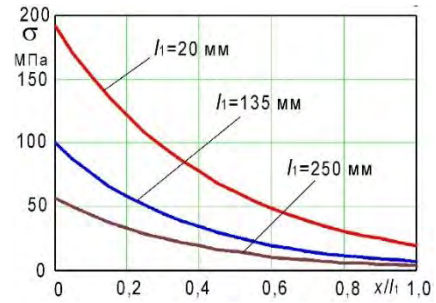


Рис. 4. Распределение нормальных напряжений по длине перекрытия.

Как показали результаты расчетов, наиболее напряженным является участок полимерного покрытия на кромке отверстия. Величины нормальных напряжений на этом участке достигают $\sigma = 57 \dots 192$ МПа, а касательных напряжений – $\tau = 15 \dots 172$ МПа.

Увеличения длины перекрытия приводит к нелинейному снижению нормальных напряжений в 3,9...5,1 раза, а касательные напряжения уменьшаются по длине перекрытия до незначительных величин порядка, не превышающих 1,0 МПа.

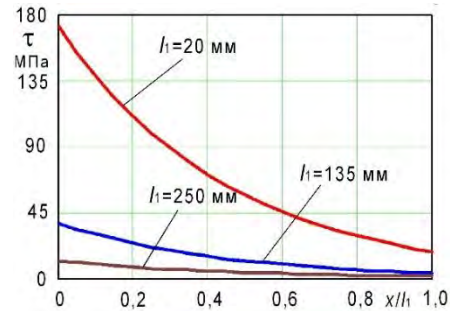


Рис. 5. Распределение касательных напряжений по длине перекрытия.

Таким образом, величины напряжений существенно уменьшаются при увеличении длины перекрытия и при удалении от кромки отверстия.

На рис.6 показан характер изменения линейных деформаций в адгезионном слое в зависимости от относительной величины перекрытия полимерным покрытием контура отверстия.

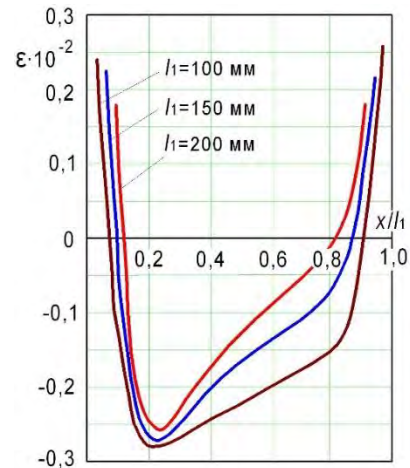


Рис. 6. Распределение линейных деформаций по длине перекрытия.

Как видно из полученных результатов наиболее опасной является зона у кромки отверстия где деформации переходят от растяжения к сжатию и принимают наибольшие величины. Второй опасной зоной является место прерывания адгезионного слоя в конце полимерного перекрытия.

Заключение

Разработана методика и представлен алгоритм (математические зависимости (9)–(17)) определения нормальных и касательных напряжений в судовом корпусном элементе, имеющем отверстие,

заформованное армированным полимерным покрытием.

Это дает возможность оценить напряженное состояние в районе соединения основы с покрытием, а также установить оптимальную величину перекрытия контура отверстия полимерным покрытием l_1 и его толщину δ_1 .

Показано, что применение полимерного покрытия для заделки сквозных проржавлений в металлических судовых конструкциях позволяет снижать напряжения на кромке отверстия путем увеличения длины перекрытия.

Литература

- Lampe J., Hamann R. Probabilistic model for corrosion degradation of tanker and bulk carrier // Marine structures. 2018. V.61. Pp. 309-325.
- Zayed A., Garbatov Y., Soares C.G. Corrosion degradation of ship hull steel plates accounting for local environmental conditions // Ocean engineering. 2018. V.163. Pp. 299-306.
- Ivošević S., Meštrović R., Kovač N. Probabilistic estimates of corrosion rate of fuel tank structures of aging bulk carriers // International journal of naval architecture and ocean engineering. 2019. V.11(1). Pp. 165-177.
- Иванова О.А., Родькина А.В. Влияние различных факторов на коррозию конструктивных элементов плавучих сооружений в морской воде // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2018. №56. С. 41-49.
- Веревкин В.И., Игушев В.Ф., Терюшева С.А. Повышение стойкости к коррозии судовых металлоконструкций // Морские интеллектуальные технологии. 2017. Т.2. №4(38). С. 69-75.
- Белов О.А., Швецов В.А., Арчибисов Д.А., Белавина О.А. К вопросу о продолжительности периода эффективной работы систем защиты от коррозии стальных корпусов вспомогательных судов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2017. №3. С. 7-15.
- Singha A.M., Raj F.M., Franco P.A., Binoj J.S. Evaluation of mechanical behavior of multifilament discarded fishnet/glass fiber and polyester composites for marine applications // Marine structures. 2018. V.58. Pp. 361-366.
- Ma S., Mahfuz H. Finite element simulation of composite ship structures with fluid structure interaction // Ocean engineering. 2012. V.52. Pp. 52–59.
- Chen N-Z, Soares C.G. Reliability analysis of ship hulls made of composite materials under sagging moments // Journal of marine science and technology. 2007. V.12(4). Pp. 263–271.
- Емельянов М.Д., Соминская Э.В. Применение композиционных материалов при ремонте корпусов морских судов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2017. №48-49. С. 77-84.
- Корягин С.И., Шарков О.В., Великанов Н.Л. Оценка трещиностойкости полимерных покрытий, используемых при ремонте судовых конструкций // Морские интеллектуальные технологии. 2019. №2-2(44). С. 39-44.
- Алсаид М., Саламех А. Обоснование применения многослойных композитных материалов в судостроении // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. №2. С. 37-47.
- Liu J., Ma J., Vaz M.A., Duan M. Axisymmetric structural behaviours of composite tensile armoured flexible pipes // Marine structures. 2020. V.74. 102829.
- Bahadur A.L., Gangadharan R. Three-dimensional stress analysis of variable angle tow composite laminate using hybrid brick elements // Thin-walled structures. 2020. V.148. 106587.
- Wang S.Y., Zhang P.Z., Zhan N. An image-driven finite element modeling method for evaluating the stress and strain distribution in carbon nanotubes/epoxy composites // Materials research express. 2019. V.6(12). 125611.
- Rezaiee-Pajand M., Shahabian F., Tavakoli F.H. Stress analysis of free-edge laminated composite plates by two bending elements // International journal of computational methods. 2016. V.13(1). 1650008.
- Норкулов А.А. Релаксация напряжений при нелинейной деформации в полимерных материалах // Пластические массы. 2007. №6. С. 42.
- Корягин С.И., Великанов Н.Л., Шарков О.В. Напряженное состояние полимерных покрытий, примененных при ремонте судовых корпусных конструкций // Морские интеллектуальные технологии. 2019. №3-3(45). С. 37–42.
- Дударьков Ю.И., Лимонин М.В. Определение напряжений поперечного сдвига в слоистом композите // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2020. Т.86. №2. С. 44-53.
- Липовцев Ю.В., Русин М.Ю. Прикладная теория упругости. Москва: Дрофа, 2008. 319 с.
- Sadd M.H. Elasticity: Theory, applications, and numerics. Amsterdam-Tokyo: Academic Press, 2014. 600 p.

References

- Lampe J., Hamann R. (2018) Probabilistic model for corrosion degradation of tanker and bulk carrier. Marine structures. V.61. Pp. 309-325.
- Zayed A., Garbatov Y., Soares C.G. (2018) Corrosion degradation of ship hull steel plates accounting for local environmental conditions. Ocean engineering. V.163. Pp. 299-306.

3. Ivošević S., Meštrović R., Kovač N. (2019) Probabilistic estimates of corrosion rate of fuel tank structures of aging bulk carriers. *International journal of naval architecture and ocean engineering*. V.11(1). Pp. 165-177.
4. Ivanova O.A., Rodkina A.V. (2018) Vliyaniye razlichnykh faktorov na korroziyu konstruktivnykh elementov plavuchikh sooruzheniy v morskoy vode [Influence of various factors on corrosion of structural elements of floating structures in sea water] *Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta*. No56. Pp. 41-49.
5. Verevkin V.I., Igushev V.F., Trusheva S.A. (2017) Povysheniye stoykosti k korrozii sudovykh metallokonstruktsiy [Improving corrosion resistance of ship structures] *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. V.2-4(38). Pp. 69-75.
6. Belov O.A., Shvetsov V.A., Chibisov D.A., Belavina O.A. (2017) K voprosu o prodolzhitel'nosti perioda effektivnoy raboty sistem zashchity ot korrozii stal'nykh korpusov vspomogatel'nykh sudov [On the issue of the duration of the effective operation of corrosion protection systems for steel hulls of auxiliary vessels] *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. No3. Pp. 7-15.
7. Singha A.M., Raj F.M., Franco P.A., Binoj J.S. (2018) Evaluation of mechanical behavior of multifilament discarded fishnet/glass fiber and polyester composites for marine applications. *Marine structures*. V.58. Pp. 361-366.
8. Ma S., Mahfuz H. (2012) Finite element simulation of composite ship structures with fluid structure interaction. *Ocean engineering*. V.52. Pp. 52-59.
9. Chen N-Z, Soares C.G. (2007) Reliability analysis of ship hulls made of composite materials under sagging moments. *Journal of marine science and technology*. V.12(4). Pp. 263-271.
10. Yemelyanov M.D., Sominsky E.V. (2017) Primeneniye kompozitsionnykh materialov pri remonte korpusov morskikh sudov [The use of composite materials in the repair of marine hulls] *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva*. No48-49. Pp. 77-84.
11. Koryagin S.I., Sharkov O.V., Velikanov N.L. (2019) Otsenka treščinostoykosti polimernykh pokrytiy, ispol'zuemykh pri remonte sudovykh konstruktsiy [Evaluation of polymer coatings crack resistance used in the repair of shipboard structures] *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. №2-2(44). Pp. 39-44.
12. Alsaid M., Salameh A. (2019) Obosnovaniye primeneniya mnogosloynnykh kompozitnykh materialov v sudostroenii [Rationale for the use of multilayer composite materials in shipbuilding] *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. No2. Pp. 37-47.
13. Liu J., Ma J., Vaz M.A., Duan M. (2020) Axisymmetric structural behaviours of composite tensile armoured flexible pipes. *Marine structures*. V.74. 102829.
14. Bahadur A.L., Gangadharan R. (2020) Three-dimensional stress analysis of variable angle tow composite laminate using hybrid brick elements. *Thin-walled structures*. V.148. 106587.
15. Wang S.Y., Zhang P.Z., Zhan N. (2019) An image-driven finite element modeling method for evaluating the stress and strain distribution in carbon nanotubes/epoxy composites. *Materials research express*. V.6(12). 125611.
16. Rezaiee-Pajand M., Shahabian F., Tavakoli F.H. (2016) Stress analysis of free-edge laminated composite plates by two bending elements. *International journal of computational methods*. V.13(1). 1650008.
17. Norkulov A.A. (2007) Rелаксация напряжений при нелинейной деформации в полимерных материалах [Stress relaxation under nonlinear deformation in polymer materials] *Plasticheskie massy*. No6. Pp. 42.
18. Koryagin S.I., Velikanov N.L., Sharkov O.V. (2019) Napryazhennoe sostoyaniye polimernykh pokrytiy, primenennykh pri remonte sudovykh korpusnykh konstruktsiy [The stress state of reinforced polymeric coatings used by repair of ship hull structures] *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. №3-3(45). Pp. 37-42.
19. Dudarkov Yu.I., Limonin M.V. (2020) Opredeleniye napryazheniy poperechnogo sdviga v sloistom kompozite [Determination of transverse shear stresses in a layered composite] *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. V.86. No2. Pp. 44-53.
20. Lipovtsev Yu.V., Rusin M.Yu. *Prikladnaya teoriya uprugosti [Applied theory of elasticity]* Moskva: Drofa, 2008. 319 p.
21. Sadd M.H. *Elasticity: Theory, applications, and numerics*. Amsterdam-Tokyo: Academic Press, 2014. 600 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Сергей Иванович Корягин, доктор технических наук, профессор, директор инженерно-технического института, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 236016, г. Калининград, ул. А.Невского, 14, e-mail: skoryagin@kantiana.ru

Sergey I. Koryagin, Dr. Sci. (Eng), Professor, Director of the Engineering and technology institute, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russian Federation, 236016, Kaliningrad, A. Nevskogo, 14, e-mail: skoryagin@kantiana.ru

Олег Васильевич Шарков, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машиноведения и технических систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 236016, г. Калининград, ул. А.Невского, 14, e-mail: osharkov@kantiana.ru

Oleg V. Sharkov, Dr. Sci. (Eng), Associate professor, Professor of the Department of engineering and technical systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russian Federation, 236016, Kaliningrad, A. Nevskogo, 14, e-mail: osharkov@kantiana.ru

Николай Леонидович Великанов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машиноведения и технических систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 236016, г. Калининград, ул. А.Невского, 14, e-mail: nvelikanov@kantiana.ru

Nikolay L. Velikanov, Dr. Sci. (Eng), Professor, Head of the Department of mechanical engineering and technical systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russian Federation, 236016, Kaliningrad, A. Nevskogo, 14, e-mail: nvelikanov@kantiana.ru

Поступила в редакцию: 14.10.2020

Принята к публикации: 13.01.2021

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 629.5.016.8:539.42

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.002

Влияние полимерных покрытий на обледенение судовых конструкций

С.И. Корягин¹ e-mail: skoryagin@kantiana.ru, О.В. Шарков¹ e-mail: osharkov@kantiana.ru,
Н.Л. Великанов¹ e-mail: nvelikanov@kantiana.ru

¹Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта

Аннотация. Полимерные покрытия находят все более широкое применение в судостроении и судоремонте. Этому способствует многообразие полимерных покрытий с различными свойствами. Одним из распространённых требований, предъявляемым к корпусным конструкциям морских судов является необходимость обеспечения их безотказной работы в условиях воздействия отрицательных температур окружающей среды. При интенсификации процессов обледенения возможно возникновение аварийных ситуаций. В статье рассмотрены различные аспекты влияния полимерных покрытий на обледенение судовых корпусных конструкций. Приведены экспериментальные зависимости адгезии льда к металлу и полимерам от солёности воды, от величины шероховатости. Установлено, что изменение шероховатости поверхностей и солёность воды существенно влияют на адгезию полимерных покрытий ко льду. Выявлены клеевые композиции, обеспечивающие полимерным покрытиям наименьшую адгезию ко льду. Исследования позволяют дать рекомендации по совершенствованию методов ремонта и модернизации судовых корпусных конструкций.

Ключевые слова: обледенение судовых конструкций, адгезия ко льду, солёность морской воды.

Influence of polymer coatings on icing of ship structures

Sergey I. Koryagin¹ e-mail: skoryagin@kantiana.ru, Oleg V. Sharkov¹ e-mail: osharkov@kantiana.ru,
Nikolay L. Velikanov¹ e-mail: nvelikanov@kantiana.ru

¹Immanuel Kant Baltic Federal University

Abstract. Polymer coatings are increasingly used in shipbuilding and ship repair. This is facilitated by the variety of polymer coatings with different properties. One of the most common requirements for marine hull structures is the need to ensure their trouble-free operation under the influence of negative environmental temperatures. With the intensification of the processes of icing possible the occurrence of accidents. The article deals with various aspects of the influence of polymer coatings on the icing of ship hull structures. Experimental dependences of ice adhesion to metal and polymers on water salinity and roughness are presented. It was found that changes in surface roughness and water salinity significantly affect the adhesion of polymer coatings to ice. Adhesive compositions that provide polymer coatings with the lowest adhesion to ice are identified. The research makes it possible to give recommendations for improving the methods of repair and modernization of ship hull structures.

Key words: icing of ship structures, adhesion to ice, salinity of sea water.

Введение

В настоящее время особенностью эксплуатации морского флота России является то, что значительная часть судов работает в климатических зонах с преобладанием низких температур, например в районах, прилегающих к Арктическому региону (Северная Атлантика, Охотское, Берингово, Норвежское, Баренцево, Японское море и др.) [1–3].

Следует учитывать, что «Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дальнейшую перспективу» в качестве приоритетных объектов морской инфраструктуры выделяет: танкеры, газовозы и контейнеровозы ледового плавания для транспортного обслуживания Северного морского пути, включая транзитные плавания; атомные ледоколы нового поколения; морские платформы и специальное оборудование для освоения месторождений нефти и газа на Арктическом шельфе.

Одной из важных задач для судов, эксплуатирующихся в таких сложных природно-климатических условиях, является борьба с обледенением судовых конструкций, влияющим на мореходные и технико-эксплуатационные характеристики судов [3–9].

В настоящее время существуют различные технические решения, предназначенные для

уменьшения обледенения судов [10–12]. К ним можно отнести вибрационно-резонансные и индукционно-ударные механические системы, сверхвысокочастотный разогрев, предварительную обработку антиобледенительными составами др. Недостатком всех этих методов является то, что для их реализации требуется дополнительное оборудование, которое не является составной частью судовых конструкций.

Одним из перспективных направлений снижения вероятности обледенения судов, позволяющим снизить материальные затраты, является изготовление судовых конструкций из композитных элементов или применение полимерных покрытий [13–14], снижающих величину адгезии льда к их поверхностям.

В данной статье приведены результаты исследования взаимодействия льда с полимерными покрытиями, в целях определения марки полимера с наименьшей величиной адгезии.

1. Современное состояние вопроса

Борьба с обледенением судовых конструкций может успешно проводиться только при комплексном использовании средств, в составе которых значительную роль играют армированные полимерные материалы, уменьшающие адгезию

льда к защищенным этими материалами поверхностям.

Многие исследователи считают, что адгезию льда к защищаемым поверхностям необходимо изучать в физико-химической интерпретации. Они полагают, что такие исследования позволят создать полимерные покрытия, уменьшающие в несколько раз адгезию льда к защищаемым поверхностям по сравнению с незащищенными.

Известно, что при использовании различных армированных полимерных покрытий, предназначенных для борьбы с обледенением, главным критерием является величина адгезии льда к защищаемой поверхности элемента.

В связи с этим актуальной задачей является применение армированных полимерных покрытий, имеющих минимальную адгезию ко льду и в то же время имеющих достаточно длительный срок службы, что позволит полностью избежать образования льда или существенно снизить опасность обледенения металлических судовых конструкций.

Из литературы известно, что главную роль в формировании адгезионной связи вода-металлическая поверхность играет физико-химическая природа поверхности, которая определяет виды и интенсивность сил межмолекулярного взаимодействия, возникающего на границе контакта с водой.

Ее рельеф оказывает влияние на площадь реальной поверхности контакта, а также интенсивность механического сцепления с защищаемой поверхностью, возникающего при переходе воды из жидкого состояния в твердое.

Таким образом, выбор клеевых композиций для создания покрытий, уменьшающих адгезию льда, следует производить на основании рассмотрения параметров межмолекулярного взаимодействия.

Молекулярная теория адгезии для клеевых соединений может быть использована при изучении адгезии льда к покрытиям. Недостатком этой теории является трудность получения количественных оценок интенсивности взаимодействия на границе раздела вода-металлическая поверхность.

Для подбора полимерных покрытий с минимальной адгезией льда к защищаемым поверхностям используют также термодинамическую теорию адгезии. За критерий, определяющий адгезию льда к покрытиям, в данном случае принимают гидрофобность, которая обычно количественно характеризуется либо краевым углом смачивания (Θ), либо поверхностной энергией натяжения (γ). Взаимосвязь между этими характеристиками определяется уравнением Юнга [15], которое для случая смачивания полимерного покрытия можно записать как

$$\cos\Theta = \frac{\gamma_{23} - \gamma_{13}}{\gamma_{12}}, \quad (1)$$

где γ_{12} – поверхностная энергия на границе жидкость-воздух; γ_{13} – поверхностная энергия на границе полимер-жидкость; γ_{23} – поверхностная энергия на границе полимер-воздух.

Исходя из уравнения (1) для полимерного покрытия условие несмачиваемости имеет следующий вид:

$$\gamma_{23} < \gamma_{13}. \quad (2)$$

Из выражения (1) следует, что чем меньше критическая поверхностная энергия смачивания клеевой композиции по сравнению с поверхностной энергией воды, тем большей гидрофобностью обладает полимерное покрытие.

По величине угла смачивания судят о степени влияния ориентации армированного полимерного покрытия на гидрофобные свойства покрытия и его способности уменьшать адгезию льда. На величину угла смачивания Θ влияют такие факторы как соленость воды и шероховатость поверхности.

Отмечается, что с повышением солености воды краевой угол смачивания увеличивается, а адгезия льда снижается.

Согласно рекомендациям Международной ассоциации свойств воды и пара (IAPWS) влияние солености воды на поверхностную энергию описывается эмпирической зависимостью

$$\gamma_S = \gamma_0(1 + 3,766 \cdot 10^{-4} S_0 + 2,347 \cdot 10^{-6} S_0 t), \quad (3)$$

где γ_0 – поверхностная энергия пресной воды; S_0 – эталонная соленость; t – температура воды.

Зависимость справедлива для диапазона солености от 20 до 132 ‰ и температур от 1,0 до 92 °С.

Как видно из формулы (3) увеличение солености приводит к росту величины поверхностной энергии, что согласно выражениям (1) и (2) улучшает гидрофобные свойства покрытия.

Следует заметить, что выражение (3) справедливо только для положительного диапазона температур воды, тогда как в зимний период в морях Арктического бассейна температура воды может составлять от –1,8 до –0,8 °С.

Из литературы известны методы определения угла смачивания Θ на шероховатой поверхности. При этом основные затруднения заключаются в определении макрошероховатости поверхности и связанного с нею истинного значения равновесного краевого угла смачивания.

Количественно величина шероховатости обычно характеризуется коэффициентом (фактором) шероховатости поверхности, который можно определить как

$$K_r = \frac{S'}{S''}, \quad (4)$$

где S' – фактическая (истинная) площадь образца; S'' – кажущаяся (измеренная) площадь образца.

Тогда величину краевого угла смачивания можно определить по формуле Венцеля-Дерягина [15]

$$K_r = \frac{\cos\Theta'}{\cos\Theta''}, \quad (5)$$

где Θ' – равновесный краевой угол смачивания на фактической (шероховатой) поверхности; Θ'' – равновесный краевой угол на гладкой поверхности.

Таким образом, можно сделать вывод, что теоретический расчет величины краевого угла смачивания при смачивании шероховатой поверхности соленой воды в диапазоне температур ниже нуля представляет собой весьма сложную задачу. Это дополнительно подтверждает актуальность исследований адгезии льда к

полимерным покрытиям в условиях низких температур с использованием расчетно-экспериментальных методов.

Необходимо отметить, что молекулярная и термодинамическая теории адгезии позволяют качественно оценить пригодность клеевых композиций для разработки полимерных покрытий, снижающих адгезию льда к защищаемым поверхностям. Молекулярные и термодинамические величины, характеризующие смачивание поверхности, обычно используются только для предварительного отбора покрытий из-за отсутствия надежных зависимостей, описывающих соотношения между силой адгезии и этими величинами.

Известно, что одним из главных требований, предъявляемых к защищаемым покрытиям, является получение минимального значения силы сцепления льда с защищаемой поверхностью.

При определении адгезии льда различают механические и молекулярные силы.

Механические силы образуются в результате адгезионной связи между поверхностью и льдом за счет сил сцепления, а молекулярные силы образуются в результате межмолекулярного взаимодействия между молекулами воды и поверхностью полимерного материала.

При обледенении полимерных материалов наблюдается смешанный тип отрыва. Обычно сила отрыва льда от единицы площади поверхности (суммарная величина адгезии льда) определяется двумя слагаемыми

$$F = F_{\text{МЕХ}} + F_{\text{АДГ}}, \quad (6)$$

где $F_{\text{МЕХ}}$ – часть силы отрыва льда от единицы площади поверхности; $F_{\text{АДГ}}$ – сила адгезии, обусловленная силами межмолекулярного взаимодействия на поверхности раздела

Эффективное значение напряжения отрыва льда от единицы площади поверхности можно найти по формуле

$$\sigma = \frac{F}{S''}, \quad (7)$$

Силу отрыва льда F необходимо определять экспериментально.

2. Результаты экспериментальной оценки адгезии льда

В связи с вышеизложенным были выполнены исследования по взаимодействию льда с образцами из стали и полимерных материалов.

Исследовалось влияние чистоты обработки поверхности и солёности воды на адгезию льда к полимерным покрытиям и металлу.

Испытания проводились с дистиллированной и соленой водой методом равномерного отрыва. Замораживание образцов проводилось при температуре минус 10 °С в течение пяти часов.

Для исследования использовались образцы из стали Ст.3 и полимерных покрытий на основе клеевых композиций типа «Спрут-9М», «Спрут-Плюс» и смолы «ЭД-5». Армирующим материалом полимерных покрытий являлась стеклоткань марки Т-11-ГВС-9.

Поверхность образцов имела шероховатость от 25 до 300 мкм, а растворы морской воды – солёность в диапазоне 5...25 ‰.

На рис. 1 приведена зависимость адгезии льда к металлу и полимерным покрытиям в зависимости от солёности воды, выраженной в промилле.

Как видно из полученных результатов при увеличении солёности в диапазоне от 5 до 25 ‰ (в 5 раз) адгезия льда к металлу и полимерному покрытию нелинейно уменьшается в среднем в 1,69 и 1,98 раза соответственно. При этом использование полимерных покрытий позволяет снизить величину адгезии в 2,3...5,4 раза.

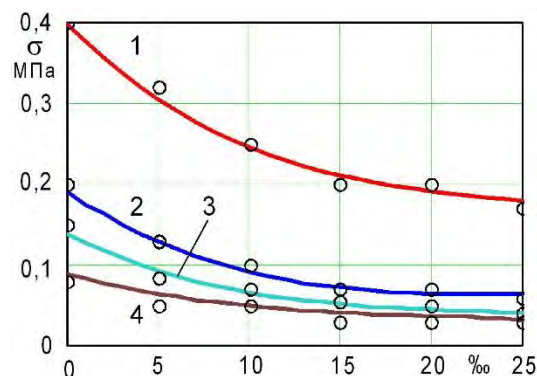


Рис. 1. Зависимость адгезии льда к металлу и полимерам от солёности воды: 1 – Ст.3; 2 – ЭД-5; 3 – Спрут-9М; 4 – Спрут-Плюс.

Данный факт соответствует результатам испытаний по изучению зависимости краевого угла смачивания воды на металле и покрытии от ее солёности. Как установлено увеличение величины поверхностного натяжения воды с повышением концентрации соли вызывает увеличение краевого угла смачивания. Это свидетельствует об ухудшении смачиваемости металла и покрытия более солёной водой при прочих равных условиях.

На рис. 2 приведена зависимость адгезии льда (дистиллированная вода) к металлу и полимерным покрытиям от величины шероховатости поверхности.

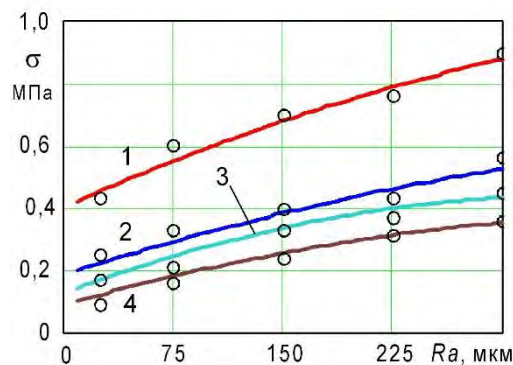


Рис. 2. Зависимость адгезии льда к металлу и полимерам от величины шероховатости: 1 – Ст.3; 2 – ЭД-5; 3 – Спрут-9М; 4 – Спрут-Плюс.

Анализ полученных результатов показывает, что адгезия льда весьма существенно зависит от величины шероховатости. При увеличении шероховатости с 25 до 300 мкм (в 12 раз) происходит нелинейное увеличение адгезии к металлу и полимерному покрытию в 1,9 и 2,34...2,96 раза соответственно.

На рис. 3 приведена сравнительная оценка влияния солёности морей Арктического региона

России на адгезию льда к полимерному покрытию на основе композиции «Спрут-Плюс».

Данные получены для минимальной и максимальной величины среднегодовой солёности воды в зимний период. В качестве критерия сравнения принято отношение значения текущей адгезии σ_j к её величине при средневзвешанной солёности $\sigma_{\text{ср}}$ для морей Арктического региона [16].

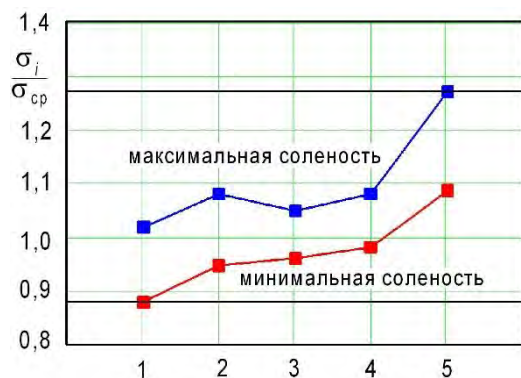


Рис. 3. Влияние солёности воды на адгезию льда для морей: 1 – Баренцева; 2 – Чукотского; 3 – Восточно-Сибирского; 4 – Лаптевых; 5 – Карского.

Как видно из полученных результатов в акватории Северного морского пути величина адгезии льда к полимерному покрытию может меняться не более чем в 1,44 раза.

Заключение

Проведенные исследования позволили выявить возможность применения полимерных покрытий для снижения обледенения судовых конструкций за счет уменьшения величины адгезии льда.

Полимерное покрытие на основе клеевой композиции «Спрут-Плюс» обладает наименьшей адгезией ко льду в сравнении с другими покрытиями.

Величина адгезии льда к полимерным покрытиям при их обычной шероховатости изменяется в диапазоне от 0,03...0,19 МПа. Похожие данные 0,1...0,2 МПа были получены и другими исследователями для поверхностей из пластмасс [17-18]. Полученные величины находятся между когезионной и адгезионной прочностью льда [18].

Литература

1. Marchenko N. Russian Arctic Seas: Navigational conditions and accidents. New York: Springer Science & Business Media, 2012. 274 p.
2. Семенихин Я.Н., Новосельцев Е.М. Развитие судоходства в Арктике - возможности и риски // Вестник транспорта. 2017. №11. С. 2-5.
3. Гармаш Д.Е., Карпова Н.А., Мартулев П.С., Наумова Т.Б. Развитие судов снабжения и концепция многофункционального судна снабжения для морских нефтегазодобывающих платформ на шельфе российской Арктики и Дальнего востока // Судостроение. 2013. № 4(809). С. 33-39.
4. Kondratenko A.A., Tarovika O.V. Analysis of the impact of arctic-related factors on offshore support vessels design and fleet composition performance // Ocean engineering. 2020. V.203. 107201.
5. Riska K., Bridges R. Limit state design and methodologies in ice class rules for ships and standards for Arctic offshore structures // Marine Structures. V.63. 2019. Pp. 462-479.
6. Orimolade A.P., Gudmestad O.T., Wold L.E. Vessel stability in polar low situations // Ships and offshore structures. 2017. V.12(1). Pp. 82-87.
7. Dehghani-Sanij A.R., Dehghani S.R., Naterer G.F., Muzychka Y.S. Sea spray icing phenomena on marine vessels and offshore structures: Review and formulation // Ocean engineering. 2017 V.132. Pp. 25-39.
8. Моницец С.Ю., Баженова А.И. Роль прогнозирования рисков в обеспечении безопасности судоходства в сложных климатических условиях // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2018. Т.21. №4. С. 558-565.
9. Сазонов К.Е. О ледовой ходкости и управляемости крупнотоннажных судов двойного действия в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. №1(107). С. 50-60.
10. Rashid T., Khawaja H.A., Edvardsen K. Review of marine icing and anti-/de-icing systems // Journal of marine engineering and technology. 2016. V.15(2). Pp. 79-87.
11. Роечко В.В., Ищенко А.Д., Малыгин И.Г., Ложкин В.Н. Энергоэффективная экологически безопасная технология борьбы с обледенением кораблей // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 3-3(45). С. 94-100.
12. Фролов М.С. О средствах борьбы с обледенением на судах // Судостроение. 2008. №5(780). С. 44-47.
13. Корягин С.И., Великанов Н.Л., Шарков О.В. Напряженное состояние полимерных покрытий, примененных при ремонте судовых корпусных конструкций // Морские интеллектуальные технологии. 2019. №3-3(45). С. 37-42.
14. Mohamed B.V., Abdelouahed T., Samir B., El Abbas A.B. Approximate analysis of adhesive stresses in the adhesive layer of plated RC beams // Computational materials science. 2009 V.46(1). Pp. 15-20.
15. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. Москва: Химия, 1976. 232 с.
16. Государственный научный центр РФ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт: <http://www.aari.ru>.
17. Matsumoto K., Kobayashi T. Fundamental study on adhesion of ice to cooling solid surface // International journal of refrigeration. 2007. V.30. Pp. 851-860.
18. Schulson E.M., Duval P. Creep and fracture of ice. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 401 p.

References

1. Marchenko N. Russian Arctic Seas: Navigational conditions and accidents. New York: Springer Science & Business Media, 2012. 274 p.
2. Semenikhin Ya.N., Novoseltsev E.M. (2017) Razvitie sudokhodstva v Arktike - vozmozhnosti i riski [Development of shipping in the Arctic - opportunities and risks] Vestnik transporta. No11. Pp. 2-5.
3. Garmash D.E., Karpova N.A., Martulev P.S., Naumova T.B. (2013) Razvitie sudov snabzheniya i kontseptsiya mnogofunktional'nogo sudna snabzheniya dlya morskikh neftegazodobyvayushchikh platform na shel'fe rossiyskoy Arktiki i Dal'nego vostoka [Development of supply vessels and the concept of a multifunctional supply vessel for offshore oil and gas platforms in the Russian Arctic and Far East] Sudostroenie. No4(809). Pp. 33-39.
4. Kondratenko A.A., Tarovika O.V. (2020) Analysis of the impact of arctic-related factors on offshore support vessels design and fleet composition performance. Ocean engineering. V.203. 107201.
5. Riska K., Bridges R. (2019) Limit state design and methodologies in ice class rules for ships and standards for Arctic offshore structures. Marine structures. V.63. Pp. 462-479.
6. Orimolade A.P., Gudmestad O.T., Wold L.E. (2017) Vessel stability in polar low situations. Ships and offshore structures. V.12(1). Pp. 82-87.
7. Dehghani-Sanj A.R., Dehghani S.R., Naterer G.F., Muzychka Y.S. (2017) Sea spray icing phenomena on marine vessels and offshore structures: Review and formulation. Ocean engineering. V.132. Pp. 25-39.
8. Moninets S.Yu., Bazhenova A.I. (2018) Rol' prognozirovaniya riskov v obespechenii bezopasnosti sudokhodstva v slozhnykh klimaticheskikh usloviyakh [The role of risk forecasting in ensuring the safety of navigation in difficult climatic conditions] Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. V.21. No4. Pp. 558-565.
9. Sazonov K.E. (2016) O ledovoy khodkosti i upravlyaemosti krupnotonnazhnykh sudov dvoynogo deystviya v Arktike [On ice navigation and handling of large-capacity double-acting vessels in the Arctic] Problemy Arktiki i Antarktiki. 2016. No1(107). Pp. 50-60.
10. Rashid T., Khawaja H.A., Edvardsen K. (2016) Review of marine icing and anti-/de-icing systems. Journal of marine engineering and technology. V.15(2). Pp. 79-87.
11. Roenko V.V., Ishchenko A.D., Malygin I.G., Lozhkin V.N. (2019) Energoeffektivnaya ekologicheski bezopasnaya tekhnologiya bor'by s obledeneniem korabley [Energy-efficient, environmentally friendly anti-icing technology for ships] Морские интеллектуальные технологии. No3-3(45). Pp. 94-100.
12. Frolov M.S. (2008) O sredstvakh bor'by s obledeneniem na sudakh [On anti-icing measures on ships] Sudostroenie. No5(780). Pp. 44-47.
13. Koryagin S.I., Velikanov N.L., Sharkov O.V. (2019) Napryazhennoe sostoyanie polimernykh pokrytiy, primenennykh pri remonte sudovykh korpusnykh konstruksiy [The stress state of reinforced polymeric coatings used by repair of ship hull structures] Morskie intellektual'nye tekhnologii. №3-3(45). Pp. 37-42.
14. Mohamed B.B., Abdelouahed T., Samir B., El Abbas A.B. Approximate analysis of adhesive stresses in the adhesive layer of plated RC beams. Computational materials science. 2009 V.46(1). Pp. 15-20.
15. Summa B.D., Goryunov Yu.V. Fiziko-khimicheskie osnovy smachivaniya i rastekaniya [Physical and chemical bases of wetting and spreading] Moskva: Khimiya, 1976. 232 p.
16. Gosudarstvennyy nauchnyy tsentr RF Arkticheskoy i Antarkticheskoy nauchno-issledovatel'skiy institut [State scientific center of the Russian Federation Arctic and Antarctic research Institute] <http://www.aari.ru>.
17. Matsumoto K., Kobayashi T. (2007) Fundamental study on adhesion of ice to cooling solid surface. International journal of refrigeration. V.30. Pp. 851-860.
18. Schulson E.M., Duval P. Creep and fracture of ice. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 401 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Сергей Иванович Корягин, доктор технических наук, профессор, директор инженерно-технического института, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 236016, г. Калининград, ул. А.Невского, 14, e-mail: skoryagin@kantiana.ru

Олег Васильевич Шарков, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машиноведения и технических систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 236016, г. Калининград, ул. А.Невского, 14, e-mail: osharkov@kantiana.ru

Николай Леонидович Великанов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машиноведения и технических систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 236016, г. Калининград, ул. А.Невского, 14, e-mail: nvelikanov@kantiana.ru

Sergey I. Koryagin, Dr. Sci. (Eng), Professor, Director of the Engineering and technology institute, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russian Federation, 236016, Kaliningrad, A. Nevskogo, 14, e-mail: skoryagin@kantiana.ru

Oleg V. Sharkov, Dr. Sci. (Eng), Associate professor, Professor of the Department of engineering and technical systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russian Federation, 236016, Kaliningrad, A. Nevskogo, 14, e-mail: osharkov@kantiana.ru

Nikolay L. Velikanov, Dr. Sci. (Eng), Professor, Head of the Department of mechanical engineering and technical systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russian Federation, 236016, Kaliningrad, A. Nevskogo, 14, e-mail: nvelikanov@kantiana.ru

Поступила в редакцию: 14.10.2020

Принята к публикации: 13.01.2021

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

УДК 629.5:621.039

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.003

Методика исследования теплогидравлических процессов при воздействии внешних динамических сил

А.А. Сатаев¹ e-mail: sancho_3685@mail.ru, **С.А. Чесноков**¹ e-mail: sergeychesand@gmail.com, **Д.И. Новиков**¹ e-mail: grey1ngreen27@gmail.com, **В.В. Андреев**¹ e-mail: vyach.andreev@mail.ru

¹Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева

Аннотация В связи с развитием атомного судостроения в РФ возникла необходимость всестороннего анализа процессов, происходящих в реакторных установках, для их модернизации, продления ресурса, увеличения технико-экономических показателей. Целью настоящей работы является создание методики исследования теплогидравлических процессов в судовых ядерных энергетических установках при воздействии внешних динамических сил. В основу получения данной методики положены математический и экспериментальный методы. Для этого был создан стенд моделирования теплогидравлических процессов в условиях качки. Основной задачей, которую требовалось решить – нахождение кинематической характеристики исследовательского стенда. Так для анализа воздействия внешних сил на теплогидравлическую модель необходимо знать закон движения материальных точек модели, а также в общем виде закон распределения температур, скорости текущей среды в модели. В самом общем виде это поле будет нестационарным и трехмерным. Закон качки задается в виде гармонического закона с зависимостями от амплитуды и периода колебаний. Теплогидравлические процессы предлагается описывать в системе, связанной с координатами в неподвижной системе координат, при изменении положения центра масс модели. Было определено, что вид этой траектории зависит от соотношения периодов и амплитуд колебаний, а также разности фаз между колебаниями. Были получены уравнения кинематики, которые затем планируется использовать при описании математической модели стенда.

Ключевые слова: Внешние динамические силы, качка, теплогидравлические процессы, естественная циркуляция, судовая ядерная энергетическая установка, смешение неизотермических потоков, колебания, теплогидравлическая модель.

Methodology of investigation of thermal-hydraulic processes under the influence of external dynamic forces

Aleksandr A. Sataev¹ e-mail: sancho_3685@mail.ru, **Sergei A. Chesnokov**¹ e-mail: sergeychesand@gmail.com, **Denis I. Novikov**¹ e-mail: grey1ngreen27@gmail.com, **Vyacheslav V. Andreev**¹, e-mail: vyach.andreev@mail.ru

¹Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Russian Federation

Abstract. In connection with the development of nuclear shipbuilding in the Russian Federation, the need arose for a comprehensive analysis of the processes taking place in reactor facilities, for their modernization, extension of the service life, and increase in technical and economic indicators. The purpose of this work is to create a methodology for studying thermohydraulic processes in ship nuclear power plants under the influence of external dynamic forces. The methodology is based on mathematical and experimental methods. For this, a stand was created for simulating thermohydraulic processes in rolling conditions. The main task that had to be solved was to find the kinematic characteristics of the research stand. So, to analyze the effect of external forces on a thermohydraulic model, it is necessary to know the law of motion of material points of the model, as well as, in general form, the law of distribution of temperatures, the velocity of the flowing medium in the model. In its most general form, this field will be non-stationary and three-dimensional. The rolling law is specified in the form of a harmonic law with dependences on the amplitude and period of oscillations. It is proposed to describe thermohydraulic processes in a system associated with coordinates in a fixed coordinate system when the position of the center of mass of the model changes. It was determined that the form of this trajectory depends on the ratio of periods and amplitudes of oscillations, as well as the phase difference between oscillations. The equations of kinematics were obtained, which are then planned to be used when describing the mathematical model of the stand.

Key words: External dynamic forces, pitching, thermohydraulic processes, natural circulation, ship nuclear power plant, mixing of non-isothermal flows, oscillations, thermohydraulic model.

Введение

Проектирование и конструирование новых устройств и изделий, особенно работающих в экстремальных и сложных условиях невозможно без проведения их всесторонних испытаний.

В ближайшей перспективе планируется создание новейшего атомного ледокола «Лидер», а также других перспективных судов с реакторными

установками, работающих в сложных условиях (льды, вибрации корпуса, морское волнение и т.д.).

На корабельную реакторную установку во время эксплуатации действуют внешние динамические силы различной природы. Все судно, а также реакторная установка, установленная на нем, практически постоянно находится под воздействием различных внешних динамических сил, оказывающих влияние на его пространственную ориентацию, как в нормальной эксплуатации, так и особенно в аварийных ситуациях. Авторами данной работы из

всего многообразия внешних сил было исследовано влияние периодической качки.

Под качкой необходимо понимать колебательные движения, которые судно совершает относительно своего положения равновесия под действием внешних сил. Судно в общем случае обладает всеми шестью степенями свободы. Относительно этого все виды колебаний можно разделить на: вертикальные, бортовые (боковые), килевые (продольная качка) [1].

Влияние качки в ЯЭУ сказывается на ключевом оборудовании 1 контура (реактор, компенсатор объема), а также имеет прямое влияние на оборудование 2 контура (парогенератор и параметры пара), а также другом оборудовании. Кроме того, современные тенденции безопасности ЯЭУ, ведут к развитию автономных способов расхолаживания, а также обеспечению альтернативных способов циркуляции теплоносителя, основанных на естественной циркуляции (ЕЦ) [2]. Из-за сложности реализации данного процесса, зависящего от многочисленных факторов (гидравлическое сопротивление трассы, расположение оборудования, диапазон изменения мощности, скорость циркуляции и других), качка также оказывает на неё негативное влияние.

1. Анализ и обзор проблемы

Морским регистром предусмотрены испытания судовых устройств на качку, основные параметры которых указаны в таблице 1.

Таблица 1

Параметры испытаний на качку судовых конструкций

№	Условия	Механизмы и системы обеспечения работы ППУ	Главные и вспомогательные механизмы	Механизмы и оборудование аварийного назначения
1	Длительный крен, град	30	15	22,5
2	Бортовая качка, град	45	22,5	22,5
3	Длительный дифферент, град	10	5	10
4	Килевая качка, град	15	7	10

В Морском регистре [3] также предусмотрено то, что должны быть представлены расчеты распределения потока теплоносителя через тепловыделяющие сборки. В расчетах должно быть учтено изменение потока теплоносителя и изменение теплопередачи под влиянием качки судна (плавучего сооружения). Коэффициенты запаса,

заложенные в расчетах, должны учитывать неточность подобных расчетов.

Кроме того, в нем [3] указано, что конструкция тепловыделяющих сборок, а также элементов управления и защиты активной зоны должна учитывать такие факторы, как свойства материалов, влияние облучения, физические и химические процессы, статические и динамические нагрузки при всех классах состояния установки, влияние качки судна (плавучего сооружения), допуски при изготовлении и неопределенности в расчетах, влияние отложений на тепловыделяющих поверхностях на эффективность теплоотвода.

При анализе отечественного и зарубежного опыта исследования влияния изменения пространственной ориентации судовой ЯЭУ можно выделить несколько экспериментальных стендов.

Стенд S5G (США, 1965 год) был предназначен для исследования применения реактора с естественной циркуляцией в судовой энергетике (с возможностью полной замены принудительной циркуляции, также в 1969 г. была принята в состав флота подводная лодка «Нарвал» с реактором такого типа. Главной проблемой этих кораблей было влияние качки на характеристики реакторной установки. Стенд-прототип имел возможность исследовать поведение установки в динамических условиях. Реактор был закреплен на специальных шарнирных опорах, с помощью которых стало возможным имитировать килевую и бортовую качку. Исследования показали, что при качке может возникнуть необходимость снижения мощности из-за перегрева отдельных узлов реакторной установки [4].

В России также проводились подобные исследования. Большой вклад внесли работы на стенде КВ-2, расположенном в НИТИ им. А.П. Александрова (Сосновый Бор) [5]. В нем изучалось поведение всей ЯЭУ при статическом изменении положения в пространстве (постоянный крен). Также подобные работы проводились на стендах АО «ОКБМ Африкантов». В работе [6] даны обобщения результатов динамических воздействий на ЯЭУ. Её автором отмечено, что ключевым параметром, который определяет степень влияния качки, является ее период, относительно величины которого влияние колебаний и их последствия для ЯЭУ будет различно.

На сегодняшний день наиболее практикуемыми в промышленности и вызывающими особый интерес являются испытания на качку и длительные наклоны для приборов, имеющих пространственную стабилизацию. Это относится к оборудованию, устанавливаемому на авиационной, ракетной, космической технике, а также на артиллерийских установках морского и наземного базирования.

Однако, исследования влияния качки на теплогидравлические процессы в судовой ЯЭУ являются не менее актуальными, а также их ценность возрастает благодаря развитию современных расчетных кодов, которые возможно было бы верифицировать, используя данные исследования.

2. Методика исследования

Для моделирования колебаний на базе «Лабораторного комплекса экспериментальных теплофизических стендов» кафедры «Ядерные

реакторы и энергетические установки» были изготовлены несколько экспериментальных стендов.

На первом этапе был изготовлен экспериментальный стенд для моделирования колебаний в одной плоскости на теплогидравлическую модель. В работах [7], [8] были исследованы теплогидравлические процессы при смешении неизоэнтальных потоков в четырехпетлевой модели гидравлического тракта судовой ЯЭУ КЛТ-40 в статическом и динамическом режиме (качка в одной плоскости с амплитудой 15° , и периодом $T = 4$ секунды). Эти колебания повлияли на

процессы перемешивания, происходящие в модели. Основное влияние они оказали на время переходного процесса, градиент температуры, вертикальную составляющую проекции скорости.

Однако, исследование колебаний только лишь в одной плоскости не показывает всей полноты явления качки. Кроме того, требования [2] и [9] предусматривают испытания в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Для этих целей был разработан стенд для испытания теплогидравлических моделей на качку в двух плоскостях.

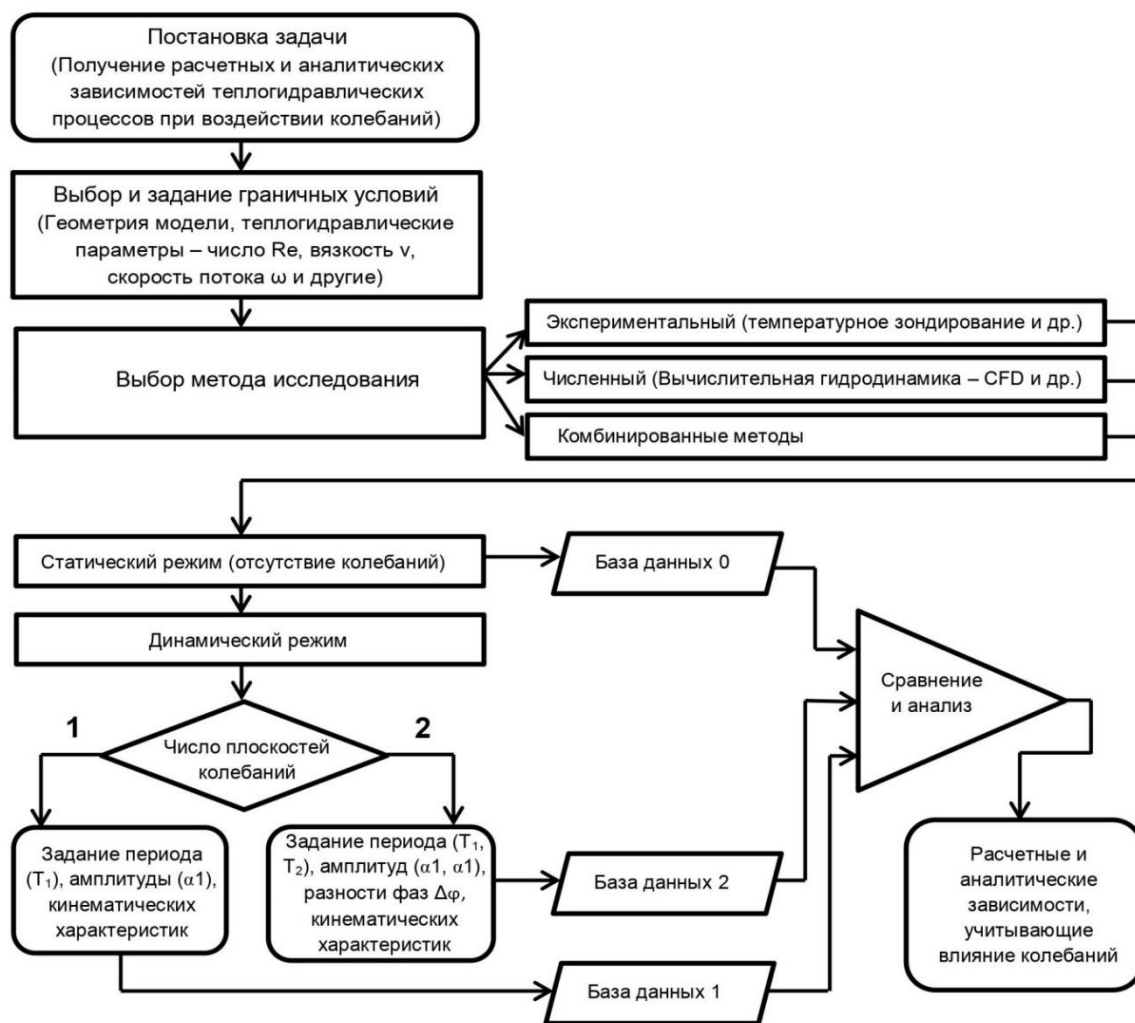


Рис. 1 Блок-схема методики исследования теплогидравлических процессов при воздействии внешних динамических сил

Целью настоящей работы является создание методики исследования теплогидравлических процессов в судовых ядерных энергетических установках при воздействии внешних динамических сил.

Общий вид методики исследования представлен в виде блок-схемы на рисунке 1. Для анализа воздействия внешних сил на теплогидравлическую модель необходимо знать закон движения материальных точек модели, а также в общем виде закон распределения температур (t), скорости (v) текущей среды в модели. В самом общем виде это поле будет нестационарным и трехмерным.

$$t = f(x, y, z, \tau)$$

$$v = f(x, y, z, \tau)$$

где x, y, z – координаты относительно лабораторной системы координат (ЛСК), τ – время.

Закону распределения температур и скорости текущей среды жестко ставится в соответствие изменение координаты модели относительно ЛСК.

Расчетные и аналитические зависимости, учитывающие различные типы колебаний могут быть получены при сравнении и анализе статического и динамического режимов.



Рис. 2 Общий вид экспериментального стенда

3. Колебания относительно одной плоскости

Вынужденные колебания барицентра (центра масс - Ц.М. обозначен на схеме С) имитатора активной зоны (АЗ) происходят в двух плоскостях XOZ и YOZ.

Точка начала лабораторной системы координат (0;0;0) совмещена с неподвижным фундаментом стенда.

Выведем уравнения зависимости координат от времени [10] для случаев, когда движение происходит в плоскостях по отдельности, то есть только в одной из плоскостей. Примем здесь и далее следующие обозначения:

- x_0 - амплитуда колебаний вдоль оси OX – [м],
- y_0 - амплитуда колебаний вдоль оси OY – [м],
- z_{01} - амплитуда колебаний вдоль оси OZ в плоскости XOZ – [м],
- z_{02} - амплитуда колебаний вдоль оси OZ в плоскости YOZ – [м],
- ω_1 - циклическая частота вынужденных колебаний в плоскости XOZ – [1/с],
- ω_2 - циклическая частота вынужденных колебаний в плоскости YOZ – [1/с],
- φ_1 - начальная фаза колебаний в плоскости XOZ – [рад],
- φ_2 - начальная фаза колебаний в плоскости YOZ – [рад],
- α_{01} - максимальный угол отклонения от оси OZ в плоскости XOZ – [рад],
- α_{02} - максимальный угол отклонения от оси OZ в плоскости YOZ – [рад],
- l_1 - расстояние от оси вращения в плоскости XOZ до центра масс АЗ – [м],
- l_2 - расстояние от оси вращения в плоскости YOZ до центра масс АЗ – [м],
- b_1 - расстояние от оси вращения в плоскости XOZ до фундамента – [м],

b_2 - расстояние от оси вращения в плоскости XOY до фундамента – [м],

точка С – положение центра масс имитатора АЗ.

Колебания в плоскости XOZ ($x(t), z(t)$) - относительно точки А):

$$x_1(t) = x_0 \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_1) \quad (1)$$

$$z_1(t) = z_{01} - z_{01} \cdot \cos(2(\omega_1 t + \varphi_1)) \quad (2)$$

Колебания в плоскости YOZ ($y(t), z(t)$) - относительно точки А):

$$y_2(t) = y_0 \cdot \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \quad (3)$$

$$z_2(t) = -z_{02} + z_{02} \cdot \cos(2(\omega_2 t + \varphi_2)) \quad (4)$$

Так как максимальный угол отклонения в обеих плоскостях равен $\alpha_{01} = \alpha_{02} = 45^\circ$, то через l_1, l_2, b_1, b_2 и угол выразим амплитуды колебаний:

$$x_0 = l_1 \cdot \sin 45^\circ$$

$$y_0 = l_2 \cdot \sin 45^\circ$$

$$z_{01} = (l_1 - l_1 \cdot \cos 45^\circ) / 2$$

$$z_{02} = (l_2 - l_2 \cdot \cos 45^\circ) / 2$$

Подставим полученные значения амплитуд и выразим зависимость координат при одноплоскостном колебании относительно начала лабораторной системы координат фундамента (0;0;0).

Зависимость координат Ц.М. при колебаниях в плоскости XOZ:

$$x(t) = l_1 \cdot \sin 45^\circ \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$$

$$z_1(t) = (b_1 - l_1) + \frac{(l_1 - l_1 \cdot \cos 45^\circ)}{2} \cdot (1 - \cos(2(\omega_1 t + \varphi_1)))$$

Зависимость координат Ц.М. при колебаниях в плоскости YOZ:

$$y(t) = l_2 \cdot \sin 45^\circ \cdot \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$$

$$z_2(t) = (b_2 + l_2) - \frac{(l_2 - l_2 \cdot \cos 45^\circ)}{2} \cdot (1 - \cos(2(\omega_2 t + \varphi_2)))$$

По полученным уравнениям в среде динамического моделирования технических систем SimInTech была построена графическая визуализация траектории движения центра масс.

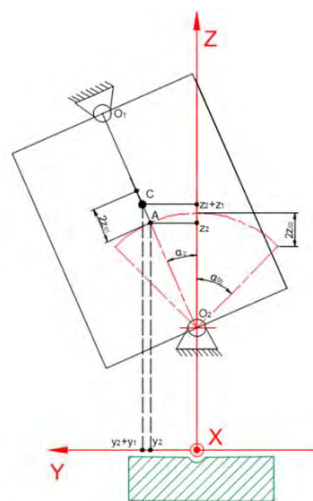


Рис. 3 Схема колебаний относительно двух плоскостей (дополнительно показаны составляющие на оси z и y от колебаний в обеих плоскостях)

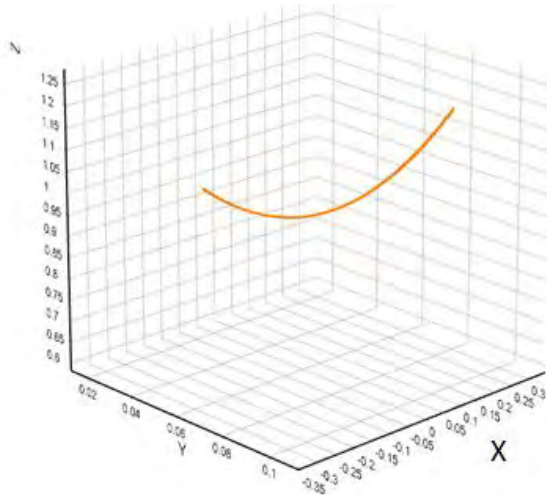


Рис. 4 Траектория движения центра масс при качке в одной плоскости с амплитудой 45° и периодом 8 секунд

4. Одновременные колебания в двух плоскостях

Представим сложное одновременное движение в обеих плоскостях в виде суммы переносной и относительной составляющих. Будем считать, что движение рамы (в плоскости YOZ) относительно точки O2 – переносная составляющая, а движение АЗ относительно O1 – относительная составляющая. При этом заметим, что имитатор АЗ закреплен в каркасе таким образом, что при наклоне рамы (большой прямоугольник на рисунке), плоскость колебаний имитатора АЗ так же наклоняется относительно ЛСК. Следовательно, при одновременном колебании необходимо учесть относительную составляющую на оси OY и OZ.

Для оси OX ничего не изменится, так как вдоль данной оси изменение координаты задается только относительным движением каркаса модели.

Зависимость координаты $x(t)$ относительно фундамента (в ЛСК):

$$x(t) = x_1(t) = x_0 \cdot \sin(w_1 t + \varphi_1)$$

Представим $y(t)$ как сумму переносного $y_2(t)$ и относительного движений $y_1(t)$:

$$y(t) = y_2(t) + y_1(t) \quad (5)$$

из формулы (3)

$$y_2(t) = y_0 \cdot \sin(w_2 t + \varphi_2)$$

Для того чтобы найти $y_1(t)$ спроецируем точку С на плоскость YOZ и найдем длину отрезка AC, которая зависит от времени.

$$AC(t) = z_{01} - z_{01} \cdot \cos(2(w_1 t + \varphi_1)) \quad (6)$$

Спроецируем AC на ось OY:

$$y_1(t) = AC(t) \cdot \sin(\alpha_2(t)) \quad (7)$$

где $\alpha_2(t)$ - угол отклонения рамы в момент времени t.

Из закона гармонических колебаний:

$$\alpha_2(t) = \alpha_{02} \cdot \sin(w_2 t + \varphi_2) \quad (8)$$

Подставив (8), (7), (6) и (3) в (5) получим:

Зависимость координаты $y(t)$ относительно фундамента (в ЛСК):

$$y(t) = y_0 \cdot \sin(w_2 t + \varphi_2) + z_{01}(1 - \cos(2(w_1 t + \varphi_1))) \cdot \sin(\alpha_{02} \cdot \sin(w_2 t + \varphi_2))$$

Аналогично выразим зависимость координаты $z(t)$:

$$z(t) = z_2(t) + z_1(t)$$

$$z_2(t) = (b_2 + l_2) - z_{02}(1 - \cos(2(w_2 t + \varphi_2)))$$

$$z_1(t) = z_{01}(1 - \cos(2(w_1 t + \varphi_1))) \cdot \cos(\alpha_{02} \cdot \sin(w_2 t + \varphi_2))$$

Зависимость координаты $z(t)$ относительно фундамента (в ЛСК):

$$z(t) = (b_2 + l_2) - z_{02}(1 - \cos(2(w_2 t + \varphi_2))) + z_{01}(1 - \cos(2(w_1 t + \varphi_1))) \cdot \cos(\alpha_{02} \cdot \sin(w_2 t + \varphi_2))$$

Окончательно получаем систему уравнений зависимости координат Ц.М. от времени:

$$x(t) = x_0 \cdot \sin(w_1 t + \varphi_1)$$

$$y(t) = y_0 \cdot \sin(w_2 t + \varphi_2) + z_{01}(1 - \cos(2(w_1 t + \varphi_1))) \cdot \sin(\alpha_{02} \cdot \sin(w_2 t + \varphi_2))$$

$$z(t) = (b_2 + l_2) - z_{02}(1 - \cos(2(w_2 t + \varphi_2))) + z_{01}(1 - \cos(2(w_1 t + \varphi_1))) \cdot \cos(\alpha_{02} \cdot \sin(w_2 t + \varphi_2))$$

В полученных уравнениях амплитуды могут быть заданы в виде:

$$x_0 = l_1 \cdot \sin 45^\circ$$

$$y_0 = l_2 \cdot \sin 45^\circ$$

$$z_{01} = (l_1 - l_1 \cdot \cos 45^\circ) / 2$$

$$z_{02} = (l_2 - l_2 \cdot \cos 45^\circ) / 2$$

$$\alpha_{02} = 45^\circ$$

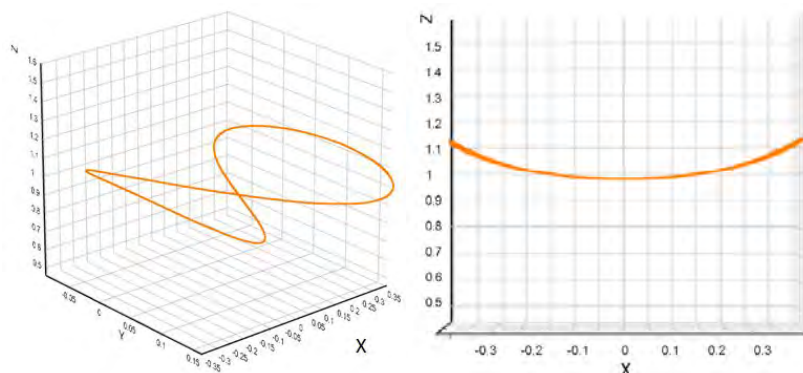


Рис. 5 Траектория движения центра масс при качке в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с амплитудой 45° и периодом 8 секунд относительно оси XOZ и амплитудой 15° и периодом 4 секунды относительно оси YOZ (справа вид траектории на плоскости XOZ)

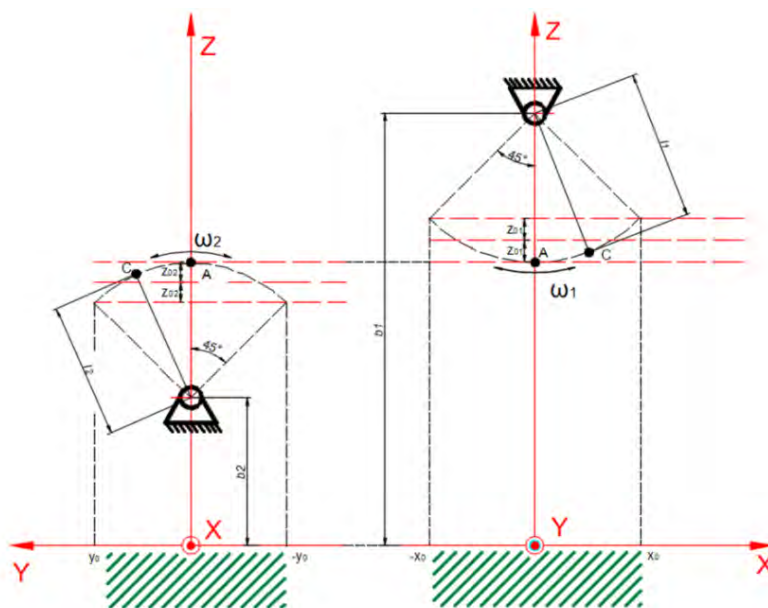


Рис. 6. Схема отдельных колебаний относительно плоскости лабораторной системы координат

Заключение

Авторами данной работы рассмотрена проблема влияния качки на работу судовой ЯЭУ, методика исследования влияния колебаний на теплогидравлические процессы, а также представлен краткий обзор стендовых исследований из отечественной и зарубежной практики. Также были систематизированы требования к подобным испытаниям согласно Правилам Российского морского регистра судоходства. Для моделирования воздействия колебаний на теплогидравлическую модель были изготовлены несколько экспериментальных стендов. Ранее было исследовано влияние качки в одной плоскости на процессы перемешивания при парциальной работе стенда (встречный впрыск циркуляционных петель, расположенных друг напротив друга). Однако для более детального приближения к натурным условиям, воздействующим на судовую ЯЭУ,

дальнейшим этапом будет исследование колебаний в двух плоскостях.

Авторами были получены точные координаты и уравнения траектории движения центра масс модели для колебаний как в одной, так и в двух плоскостях.

Для того чтобы дать точную оценку и проанализировать воздействие качки на теплогидравлические процессы требуется осуществлять фиксацию положения модели относительно всех трех координат. Это необходимо учитывать при модернизации стенда, его системы управления и отслеживания колебаний.

При движении в двух плоскостях происходит сложение колебательных движений, модель совершает сложные колебания. Вид этой траектории зависит от соотношения периодов и амплитуд колебаний, а также разности фаз между колебаниями (для случаев, когда колебания относительно одной из плоскостей запаздывают/опережают колебания относительно другой плоскости).

Литература

1. Ремез, Ю. В. Качка корабля / Ю. В. Ремез. — Л.: Судостроение, 1983. — 328 с.
2. Благовещенский, А. Я. Корабельные ядерные энергетические технологии в решении проблем надежности, безопасности и живучести АЭС России / А. Я. Благовещенский, С. М. Бор, В. Н. Митюков. — Текст : непосредственный // Научно-технический сборник «Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ». — Сосновый Бор : НИТИ им. А.П. Александрова, 2015. — С. 24-37.
3. НД 2-020101-112. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки атомных судов и плавучих сооружений. СПб., 2018.
4. Батырев, А. Н. Корабельные ядерные энергетические установки зарубежных стран / А. Н. Батырев, В. Д. Кошеверов, О. Ю. Лейкин. — СПб : Судостроение, 1994. — 327 с.
5. Андреев Н. Г. Результаты исследований при эксплуатации наземных стендов-прототипов по обоснованию и повышению радиационной безопасности транспортных ЯЭУ / Н.Г. Андреев [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла – № 4 (14) – 2018.
6. Кресов, Д. Г. Об унификации требований к работоспособности транспортных реакторных установок при качке / Д. Г. Кресов. — Текст : непосредственный // Судостроение. — 2017. — № 5 (834). — С. 33.
7. Sataev A.A., Andreev V.V., Novikov D.I., Perevezentseva Ju.S A simulation study of processes for mixing non-isothermal flows under dynamic effects CPT2020 The 8th international scientific conference on computing in physics and technology proceedings Volume 1 https://doi.org/10.30987/conferencearticle_5fce27734ac630.59412568.

8. Сатаев, А. А. Исследование процессов смешения неизотермических потоков на модели судовой ядерной энергетической установки / А. А. Сатаев, А. В. Дунцев — Текст : непосредственный // Вестник ИГЭУ. — 2018. — № 5. — С. 26-32.
9. ГОСТ 30630.1.7-2013 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие ударов при свободном падении, при падении вследствие опрокидывания; на воздействие качки и длительных наклонов
10. Вульфсон, И. И. Краткий курс теории механических колебаний / И. И. Вульфсон. — М : ВНТР, 2017. — 241 с. — Текст : непосредственный.

References

1. Remez YU. V. Kachka korablya [Ship roll]. L.: Sudostroenie, 1983. — 328 с.
2. Blagoveshchenskiy A.YA., Bor S.M., Mityukov V.N. Korabel'nye yadernye energeticheskie tekhnologii v reshenii problem nadezhnosti, bezopasnosti i zhivuchesti AES Rossii [Ship-based nuclear power technologies in solving problems of reliability, safety and survivability of Russian nuclear power plants] // Nauchno-tekhnicheskij sbornik «Tekhnologii obespecheniya zhiznennogo cikla YAEU». – Sosnovyj Bor: NITI im. A.P. Aleksandrova, 2015. – S. 24–37.
3. ND 2-020101-112. Russian Maritime register of shipping. Rules for classification and construction of nuclear-powered vessels and floating structures. Saint Petersburg., 2018.
4. Batyrev A. N., Kosheverov V. D., Lejkin O. YU. Korabel'nye yadernye energeticheskie ustanovki zarubezhnyh stran [Shipboard nuclear power plants of foreign countries]. SPb.: Sudostroenie, 1994.
5. Andreev N. G. Rezul'taty issledovaniy pri ekspluatatsii nazemnyh stendov-prototipov po obosnovaniyu i povysheniyu radiacionnoj bezopasnosti transportnyh YAEU [Results of research in the operation of ground-based prototype stands to substantiate and improve the radiation safety of transport nuclear power plants]. Tekhnologii obespecheniya zhiznennogo cikla – № 4 (14) – 2018.
6. Kresov, D. G. Ob unifikatsii trebovaniy k rabotosposobnosti transportnyh reaktornyh ustanovok pri kachke [On the unification of requirements for the performance of transport reactor installations during rolling] .Sudostroenie. — 2017. — № 5 (834). — S. 33.
7. Sataev A.A., Andreev V.V., Novikov D.I., Perevezentseva Ju.S A simulation study of processes for mixing non-isothermal flows under dynamic effects CPT2020 The 8th international scientific conference on computing in physics and technology proceedings Volume 1 https://doi.org/10.30987/conferencearticle_5fce27734ac630.59412568.
8. Sataev, A. A, Duntsev A.V. Issledovanie processov smesheniya neizotermicheskikh potokov na modeli sudovoy yadernoy energeticheskoy ustanovki [Investigation of mixing processes of non-isothermal flows on the model of a ship nuclear power plant]. Vestnik IGEU. — 2018. — № 5. — S. 26-32.
9. ГОСТ 30630.1.7-2013 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие ударов при свободном падении, при падении вследствие опрокидывания; на воздействие качки и длительных наклонов
10. Вульфсон, И. И. Краткий курс теории механических колебаний [Short course in the theory of mechanical vibrations]. М : ВНТР, 2017. — 241 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Александр Александрович Сатаев, аспирант, кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24 e-mail: sancho_3685@mail.ru

Aleksandr A. Sataev, graduate student, Nuclear Reactors and Power Plants Department, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Minin St., 24, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation. e-mail: sancho_3685@mail.ru

Сергей Андреевич Чесноков, студент 5 курса, выпускающая кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24. e-mail: sergeychesand@gmail.com

Sergei A. Chesnokov, student 5 years of study, Nuclear Reactors and Power Plants Department, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Minin St., 24, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation. e-mail: sergeychesand@gmail.com

Денис Ильич Новиков, магистрант 2 года обучения, выпускающая кафедра «Ядерные реакторы и энергетические установки», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24. e-mail: grey1ngreen27@gmail.com

Denis I. Novikov, master's student 2 years of study, Nuclear Reactors and Power Plants Department, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Minin St., 24, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation. e-mail: grey1ngreen27@gmail.com

Вячеслав Викторович Андреев, д-р. техн. наук, профессор, зав. каф. «Ядерные реакторы и энергетические установки», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24 e-mail: vyach.andreev@mail.ru

Vyacheslav V. Andreev, Dr. Sci. (Eng), Associate Professor, head of Nuclear Reactors and Power Plants Department, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Minin St., 24, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation. e-mail: vyach.andreev@mail.ru

Поступила в редакцию: 15.11.2020

Принята к публикации: 15.01.2021

Экологический эффект молекулярной деструкции отработавших газов двигателей внутреннего сгорания

В.В. Мурамович² e-mail: ler.mura@yandex.ru, **В.Ю. Каминский**¹ e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru,
С.Н.Турусов³ e-mail: serniktur@yandex.ru

¹Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук, ²Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, ³Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт электромашиностроения

Аннотация. Рассматривается экологическая проблема очистки отработавших газов углеводородных энергетических установок от токсичных компонентов. Показан состав основных токсичных компонентов, приведены значения энергии связи их молекул. Представлены существующие методы улучшения экологических характеристик двигателей внутреннего сгорания: рециркуляция отработавших газов, снижение степени сжатия, уменьшение угла опережения впрыска, добавление присадок к топливу и др. Перечислены их достоинства и недостатки. Предлагается новый метод – использование электромагнитных полей для очистки отработавших газов от токсичных компонентов. Выполнен оценочный расчет его эффективности. Показано, что применение устройств модификации в топливной системе двигателей внутреннего сгорания, а также в системе выпуска отработавших газов позволяет существенно снизить выбросы в окружающую среду вредных веществ, и, при этом, не требует принципиальных изменений в конструкции двигателей. Рабочий ресурс предлагаемых устройств электромагнитной обработки обусловлен применяемыми для их изготовления материалами.

Ключевые слова: энергетические установки, углеводородное топливо, отработавшие газы, загрязнение атмосферы, электромагнитное поле, очистка от токсичных веществ.

Environmental effect of molecular degradation of internal combustion engine exhaust gases

Valeriya V. Muramovich² e-mail: ler.mura@yandex.ru, **Valery Yu. Kaminsky**¹ e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru,
Sergey N. Turusov³ e-mail: serniktur@yandex.ru

¹Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science, ²Baltic State Technical University «VOENMEKH» D.F. Ustinova, ² St. Petersburg, Russian Federation, ³JSC all-Russian scientific research design and Technology Institute of electrical engineering (VNITI EM)

Abstract. The ecological problem of cleaning the exhaust gases of hydrocarbon power plants from toxic components is considered. The composition of the main toxic components is shown; the values of the binding energy of their molecules are given. The existing methods of improving the environmental characteristics of internal combustion engines are presented: exhaust gas recirculation, reduction of the compression ratio, reduction of the injection advance angle, addition of fuel additives, etc. Their advantages and disadvantages are listed. A new method is proposed – the use of electromagnetic fields for cleaning exhaust gases from toxic components. An estimated calculation of its effectiveness is performed. It is shown that the use of modification devices in the fuel system of internal combustion engines, as well as in the exhaust gas system, can significantly reduce emissions of harmful substances into the environment, and, at the same time, does not require fundamental changes in the design of engines. The materials used for their manufacture determine the working life of the proposed electromagnetic processing devices.

Keywords: power plants, hydrocarbon fuel, exhaust gases, atmospheric pollution, electromagnetic field, cleaning of toxic substances.

Введение

Снижение выбросов отработавших газов, возникающих при использовании углеводородного топлива, является ключевой проблемой промышленно развитых стран. В Российской Федерации эта проблема, прежде всего, – проблема автопроизводителей, работающих на внутренний и внешний рынок, поскольку соответствие продукции рекомендациям Евросоюза по выбросу отработавших газов является одним из условий её реализации на западном рынке.

Ведущие страны с развитой промышленностью, транспортом и жилищно-бытовой сферой в наибольшей степени несут ответственность за применение современных энергосберегающих технологий.

Учитывая эволюцию цены на сырую нефть, которая, не смотря на заметные колебания, имеет тенденцию к росту, принимая во внимание политические аспекты добычи и поставок

углеводородов, исходя из существующей концепции роста мирового автомобильного парка, ведущие страны мира рассматривают меры по снижению экологического ущерба с точки зрения своей энергетической безопасности.

Все виды транспорта являются источником почти четверти выбросов, связанных с человеческой деятельностью.

В частности, ежегодный экологический ущерб в результате функционирования автотранспортного комплекса России достигает 2–3% валового национального продукта: 60% ущерба приходится на долю легкового пассажирского транспорта, 26,5% – на перевозки грузов и 13,5% – на автобусные перевозки.

Отработавшие газы (ОГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) представляют сложную смесь более 300 соединений. В основном это газообразные вещества и небольшое количество твердых частиц во взвешенном состоянии. Газовая смесь включает инертные газы, продукты сгорания и несгоревший

окислитель. Вещества в твердой фазе – продукты дегидрирования топлива, металлы и другие несгоревшие вещества. По химическим свойствам компоненты ОГ разделяются на две группы: нетоксичные и токсичные. Основными нормируемыми токсичными компонентами выхлопных газов двигателей являются оксиды углерода, азота и углеводороды.

Требования действующих в нашей стране государственных и отраслевых стандартов к уровню токсичности и дымности отработавших газов двигателей обуславливают проведение специальных мероприятий на стадиях проектирования, производства и эксплуатации двигателей. Проблема снижения токсичности и дымности ОГ осложняется тем, что необходимо уменьшать выброс в атмосферу одновременно нескольких токсичных компонентов. При этом многие методы, снижающие выброс продуктов неполного сгорания углерода, связаны с интенсификацией процесса сгорания, что вызывает увеличение концентрации оксидов азота (NO_x). В свою очередь реализация ряда способов уменьшения выбросов NO_x ухудшает топливную экономичность двигателя.

Известно несколько способов уменьшения дымности и токсичности ОГ дизельных двигателей. Вопрос о выборе наиболее целесообразного способа решается применительно к конкретным условиям.

1. Способы снижения выхода вредных веществ в отработавших газах

Выделим три основных направления снижения содержания вредных веществ в ОГ:

- совершенствование процессов сгорания топлива;
- очистка ОГ от токсичных и вредных компонентов;
- повышение качества топлива.

Преимущество первого способа заключается в том, что одновременно со снижением дымности ОГ и уменьшением содержания в них окиси углерода (СО) и углеводородов (СН) улучшаются мощностные и экономические показатели двигателя. Однако интенсификация сгорания увеличивает концентрацию NO_x . Наоборот, воздействие на процесс сгорания снижением степени сжатия, уменьшением угла опережения впрыска топлива, дросселированием воздуха на впуске приводит к уменьшению выхода NO_x , но при этом ухудшаются индикаторные показатели работы двигателя.

Для снижения токсичности ОГ дизельного двигателя необходимо сокращать длительность задержки воспламенения и в этот период впрыскивать основную долю топлива, стремясь к тому, чтобы сгорание происходило в течение второй фазы с небольшой скоростью, а в завершающих фазах - с наибольшей возможной интенсивностью.

Снижения вредных компонентов в отработавших газах можно достичь с помощью рециркуляции части ОГ из системы выпуска во впускной трубопровод. При этом содержание кислорода в цилиндрах уменьшится. Диоксид азота (CO_2), содержащийся в ОГ, может способствовать сокращению периода задержки воспламенения. Все это, вместе с относительно высокой теплоемкостью продуктов сгорания, приводит к снижению максимальной температуры цикла и концентрации кислорода.

Данный способ уменьшает образование оксидов азота и обеспечивает снижение их концентрацию в ОГ на 40÷50%. Для такого снижения концентрации NO_x во впускную систему необходимо подавать отработавшие газы в соотношении 20% от объема воздуха.

Рециркуляция отработавших газов более эффективна при малых и средних нагрузках, причем ее эффективность в дизельных двигателях с камерой сгорания в поршне выше, чем в двигателях с разделенными камерами. При больших нагрузках рециркуляция ОГ уменьшает индикаторный КПД двигателя и увеличивает выход окиси углерода.

Аналогичное воздействие на снижение выхода NO_x имеет подача воды во впускной трубопровод или цилиндр дизеля. В последнем случае вода может впрыскиваться вместе с топливом в виде топливно-водяной эмульсии. При добавке воды в количестве 6% (по массе) концентрация NO_x снижается в два раза. При этом выход СО и СН практически не меняется. Однако, использование воды для снижения образования NO_x наталкивается на ряд проблем, связанных с возможностью ее замерзания, появлением коррозии и увеличением износа некоторых деталей двигателя.

Радикальный способ уменьшения токсичности ОГ - нейтрализация (обезвреживание) газов в системе выпуска. В каталитических нейтрализаторах отработавшие газы проходят через слой катализатора, ускоряющего протекание окислительных реакций, т. е. превращение СО и СН в CO_2 и H_2O . В результате каталитической нейтрализации при температуре ОГ более 300°C концентрация СО уменьшается на 85 ÷ 90%, а СН - на 75÷80%. При низких температурах ОГ (менее 300°C) эффективность каталитических нейтрализаторов невысока. При эксплуатации нейтрализаторы часто забиваются сажей. Поэтому перед нейтрализатором устанавливают специальные улавливатели сажи или периодически выжидают её в самом нейтрализаторе. Каталитические нейтрализаторы применяются в двигателях, работающих в условиях повышенной загазованности воздуха.

Возможно применение термической нейтрализации, при которой окисление СО и СН происходит при высоких температурах без катализатора. Полнота термической нейтрализации зависит от концентрации токсичного компонента и кислорода, температуры, давления и времени нахождения газов в нейтрализаторе. Если в отработавших газах совсем нет или недостаточно кислорода, то к ним с помощью специального насоса добавляют воздух. В термическом нейтрализаторе происходит интенсивное превращение NO в NO_2 . Термические нейтрализаторы изготавливают в виде теплоизолированных камер, встроенных в выпускную систему, по возможности ближе к клапанам. Система каналов в нейтрализаторе обеспечивает хорошее перемешивание дополнительного воздуха и ОГ. Термический нейтрализатор увеличивает гидравлическое сопротивление системы выпуска, и поэтому при его установке экономичность двигателя снижается.

Повышение качества топлива увеличивает цетановое число, уменьшает период задержки воспламенения, снижает жесткость работы

двигателя и максимальное давление сгорания. При малых и средних нагрузках увеличение цетанового числа способствует уменьшению выброса NO_x и CH , а при больших, в некоторых случаях, - повышению дымности ОГ. Чем больше в топливе легких фракций, тем выше его испаряемость, а значит, равномернее состав смеси в камере сгорания, что приводит к снижению дымности ОГ и уменьшению концентрации в них NO_x . Добавка к дизельному топливу до 1% антидымных присадок, например, на основе бария, марганца и тетраэтилсвинца, позволяет при больших нагрузках в несколько раз снизить дымность ОГ, а также содержание в них альдегидов и бензопирена.

Перечисленные способы снижения выбросов вредных веществ, уменьшения токсичности и дымности отработавших газов имеют общие недостатки. К ним относятся:

- высокая стоимость применяемых материалов (катализаторы);
- использование жидких реагентов (AdBlue) для селективной каталитической нейтрализации (может замёрзнуть в зимний период);
- установка термических нейтрализаторов в зоне высоких температур отработавших газов;
- ограниченный ресурс работы;
- усложнение вспомогательных систем двигателя.

2. Молекулярная модификация топлива и дезинтеграция отработавших газов

Одним из направлений улучшения качества моторного топлива является разработка и внедрение молекулярных модификаторов моторного топлива (ММТ). Назначение ММТ заключается в уменьшении коэффициента поверхностного натяжения и увеличении теплоты сгорания топлива [1-3]. В результате изменения химической структуры топливо эффективно распыляется, повышается однородность топливно-воздушной смеси и качество её горения. В конечном итоге это приводит к уменьшению удельного расхода топлива и улучшению экологических показателей двигателя.

Внедрение молекулярных модификаторов топлива (ММТ) на дизельных двигателях заметно улучшает их экологические характеристики, существенно снижая удельные расходы топлива. В табл. 1 показано изменение экологических и экономических характеристик дизельного двигателя ЯМЗ-238 после установки ММТ, зафиксированных в ходе стендовых испытаний [4].

Таблица 1

Усредненные эффекты использования ММТ, (%)

Изменение характеристик двигателя после установки устройства модификации					
Расход топлива	Эффективный КПД	CO	CH	NO_x	Дым
- 6,2	+ 6,2	- 5,4	- 6,8	+ 5,3	- 24,0

Применение модификатора позволяет существенно понизить в отработавших газах концентрации всех вредных веществ, кроме оксидов азота, а также значительно уменьшить дымность двигателя.

Оксиды азота образуются в цилиндрах двигателя при температурах, превышающих 1200°C . Повышение концентрации оксидов азота (таблица 1) при установке молекулярного модификатора объясняется увеличением теплоты сгорания топлива и, следовательно, повышением температуры в цилиндрах, кроме того, при меньшем расходе топлива растёт коэффициент избытка воздуха.

Одним из способов уменьшения концентрации оксидов азота в отработавших газах дизельных двигателей может быть ослабление наддува путём снижения производительности. Несомненно, такая мера является ограниченной, поскольку лишь возвращает концентрацию оксидов азота к первоначальному значению (до установки модификатора топлива).

Радикального снижения концентрации оксидов азота можно достичь, установив устройство, аналогичное ММТ (назовем его молекулярным дезинтегратором - МД) в систему выпуска отработавших газов [5].

Физическая сущность процесса дезинтеграции заключается в следующем. Как известно [6] воздействие электромагнитного поля на молекулы углеводородов приводит к разрыву в них межатомных связей. МД генерирует электромагнитное поле, которое взаимодействуя с молекулами оксидов азота, способно разрывать межатомные связи в молекулах NO и NO_2 . Это можно показать на примере оценочного расчета для двигателя ЯМЗ-238НБ.

Дизельный двигатель ЯМЗ-238НБ имеет часовой расход топлива 38 л/ч, соотношение топливо-воздух - 1:15. Тогда часовой расход воздуха составит 570 л/ч; объем отработавших газов - $V = 608$ л/ч или 0,17 л/с.

Энергия связи молекулы NO - 630 кДж/моль, а молекулы NO_2 - 439 кДж/моль.

Если установить модификатор, воздействующий на отработавшие газы в выпускном тракте двигателя, то электромагнитное поле будет возбуждать все молекулы отработавших газов, а молекулы NO и NO_2 подвергать дезинтеграции. Из этих молекул наибольшая энергия связи у NO . Допустим, что отработавшие газы содержат только молекулы оксида азота.

Общее число молекул в 1 м^3 отработавших газов составляет

$$N_{\text{NO}} = N_{\text{AB}} \rho_{\text{NO}} / M = 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1,34 / 0,03 \approx 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3},$$

где N_{NO} - число молекул NO в отработавших газах, N_{AB} - число Авогадро, ρ_{NO} - плотность оксида азота, M - молярная масса оксида азота.

При работе двигателя на номинальной мощности скорость выхода молекул оксида азота составит

$$N_{\text{NO}}^* = V_{\Gamma} \cdot N_{\text{NO}} = 1,7 \cdot 10^{-4} \cdot 2,7 \cdot 10^{25} = 4,59 \cdot 10^{21} \text{ с}^{-1},$$

где: V_{Γ} - объем газа, выбрасываемый за 1 сек.

Энергия связи атомов в молекуле оксида азота $6,3 \cdot 10^5$ Дж/моль, что в пересчете на одну молекулу составляет

$$E_{\text{св}} = 1,05 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}.$$

Энергия импульса электрического поля в прямоугольной камере с 40 плоскопараллельными электродами [7], размером $h = 0,15$ м и $l = 0,4$ м при напряжении на электродах $U = 2000$ вольт составит

$$E_{\text{имп}} = nh\epsilon_0\epsilon U^2/2d = 20 \cdot 0,15 \cdot 0,4 \times \\ \times 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot \frac{2000^2}{2} \cdot 0,004 = 5,31 \cdot 10^{-3} \text{ Дж,}$$

где: n – число пластинчатых электродов в камере, h – высота электродов, l – длина электродов, ϵ , ϵ_0 – относительная и абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, U – максимальное напряжение на электродах.

С учётом энергии связи атомов в молекуле NO число молекул NO, дезинтегрируемых одним импульсом поля, определяется следующим образом

$$N_{\delta}^{\text{умп}} = E_{\text{умп}}/E_{\text{св}} = 5,31 \cdot 10^{-3}/1,05 \cdot 10^{-20} \approx \\ \approx 7,3 \cdot 10^{17},$$

а скорость их дезинтеграции при частоте поля $f_n = 5$ кГц составит

$$N_{\delta}^* = N_{\delta}^{\text{умп}} f_n = 5,06 \cdot 10^{17} \cdot 5 \cdot 10^3 \approx 2,53 \cdot 10^{21} \text{ с}^{-1}.$$

Тогда для дезинтеграции всех молекул NO, в объеме дезинтегратора, потребуется время

$$t^* = N_{NO}^*/N_{\delta}^* = 4,59 \cdot 10^{20}/2,53 \cdot 10^{21} \approx 1,8 \text{ с.}$$

Пусть объем камеры дезинтегратора выхлопных газов будет

$$V_{\kappa} = lh(d + 0,001)n = 0,4 \cdot 0,15 \times \\ \times (0,004 + 0,001) \cdot 20 = 0,003 \text{ м}^3 = 6 \text{ л,}$$

где 0,001 – толщина пластинчатых электродов.

Тогда время нахождения выхлопных газов в камере составит

$$t = V_{\kappa}/V_c = 6/0,17 \approx 35,3 \text{ с.}$$

Таким образом, время нахождения газов в камере в 20 раз больше времени, потребного для дезинтеграции всех молекул NO.

Очевидно, что молекулы NO, как и других токсичных газов будут многократно подвергаться воздействию энергии электромагнитного поля, достаточной для их полной дезинтеграции.

Заключение

Совершенствование конструкций современных дизельных двигателей практически исчерпано.

Применение различных присадок к дизельному топливу увеличивает стоимость эксплуатации двигателя и при этом достигается ограниченный эффект снижения концентраций отдельных компонентов токсичных веществ на разных режимах работы, причём наибольшие трудности вызывает снижение концентраций оксидов азота.

Применение молекулярных модификаторов в топливной системе и молекулярных дезинтеграторов в системе выпуска отработавших газов позволяет свести выбросы вредных веществ ДВС к минимуму, не фиксируемому приборами контроля.

При этом необходимо отметить, что установка устройств модификации и дезинтеграции:

- не требует принципиальных изменений в конструкциях систем двигателей внутреннего сгорания;

- не требует дополнительных расходных материалов и при этом имеет неограниченный ресурс эксплуатации;

- позволяет обеспечить «чистый» выхлоп даже для очень старых двигателей, далеких от стандартов ЕВРО.

Литература

1. Мурамович В.Г., Каминский В.Ю. Применение молекулярных модификаторов для восстановления физико-химических характеристик органических теплоносителей // Инновации и инвестиции. 2014. № 3. С. 226-228.
2. Каминский В.Ю., Мурамович В.Г., Анисимов П.Ф. Применение молекулярных модификаторов топлива на транспорте // Транспорт Российской Федерации. 2016. №6 (67). С. 12-15.
3. Каминский В.Ю., Мурамович В.Г. Молекулярная модификация жидкого ракетного топлива // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 1 (91). С. 56-59.
4. Проведение длительных моторных испытаний устройства «Молекулярный модификатор топлива»: отчёт о НИР / Санкт – Петерб. гос. политехн. ун-т; руков. Галышев Ю.В.; исполн.: Шабанов А.Ю., Зайцев А.Б. СПб. 2011. 25 с. № ГР 140301101.
5. Каминский В.Ю., Мурамович В.Г., Анисимов П.Ф. Молекулярная деструкция как способ снижения эмиссии отработавших газов ДВС // в сборнике: «Транспорт России: проблемы и перспективы – 2017» материалы Международной научно-практической конференции. 2017. С. 376-382.
6. Каминский В.Ю., Грушецкий С.М., Анисимов П.Ф., Турусов С.Н. Молекулярная модификация углеводородного топлива воздействием различных физических полей // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 4-4 (42). С. 57-64.
7. Каминский В.Ю., Скороходов Д.А., Анисимов П.Ф., Стариченков А.Л. Расчётные исследования конструкций устройств молекулярной модификации топлива // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 2-2 (44). С. 55-63.

References

1. Muramovich V.G., Kaminsky V.YU. Primenenie molekulyarnyh modifikatorov dlya vosstanovleniya fiziko-himicheskikh harakteristik organicheskikh teponositelej [Application of molecular modifiers for recovery of physical and chemical characteristics of organic heat carriers]. Innovacii i investicii. 2014. № 3. pp. 226-228.
2. Kaminskij V.YU., Muramovich V.G., Anisimov P.F. Primenenie molekulyarnyh modifikatorov topliva na transporte [The use of molecular modifiers of fuel on transport]. Transport Rossijskoj Federacii. 2016. №6 (67). pp. 12-15.
3. Kaminskij V.YU., Muramovich V.G. Molekulyarnaya modifikacija zhidkogo raketnogo topliva [Molecular modification of liquid rocket fuel]. Izvestiya Rossijskoj akademii raketnyh i artillerijskih nauk. 2016. № 1 (91). pp. 56-59.

4. Provedenie dlitel'nyh motornyh ispytaniy ustrojstva «Molekulyarnyj modifikator topliva»: otchyot o NIR [Long-term motor tests of the device «Molecular fuel modifier»: research report]. Sankt – Peterb. gos. politekhn. Un-t; rukov. Galyshev YU.V.; ispoln.: Shabanov A.YU., Zajcev A.B. SPb. 2011. 25 p. № GR 140301101.
5. Kaminsky V.YU., Muramovich V.G., Anisimov P.F. Molekulyarnaya destrukciya kak sposob snizheniya ehmissii otrabotavshih gazov DVS [Molecular destruction as a method of reducing exhaust gas emission of ICE]. V sbornike: «Transport Rossii: problemy i perspektivy 2017» materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2017. pp. 376-382.
6. Kaminsky V.YU., Grusheckij S.M., Anisimov P.F., Turusov S.N. Molekulyarnaya modifikaciya uglevodorodnogo topliva vozdeystviem razlichnyh fizicheskikh polej [Molecular modification of a hydrocarbon fuel with the influence of various physical fields]. Morskije intellektual'nye tekhnologii. 2018. № 4-4 (42). pp. 57-64.
7. Kaminsky V.YU., Skorohodov D.A., Anisimov P.F., Starichenkov A.L. Raschyotnye issledovaniya konstrukcij ustrojstv molekulyarnoj modifikacii topliva [Computational studies of the structures of the devices of the molecular modification of fuel]. Morskije intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 2-2 (44). S. 55-63.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Валерий Юрьевич Каминский, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией, Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук, 199178, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 12 линия, 13, e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru

Валерия Викторовна Мурамович, аспирант, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 192241, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская улица, 1, e-mail: ler.mura@yandex.ru

Сергей Николаевич Турусов, доктор технических наук, профессор, генеральный директор, Акционерное общество «Всероссийский научно исследовательский и технологический институт электромашиностроения» (ВНИТИ ЭМ), 196128, Санкт-Петербург, Благодатная ул., д. 2, e-mail: serniktur@yandex.ru

Valery Yu. Kaminsky, senior lecturer, Ph.D. (Eng), Head of the laboratory, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian academy of science 13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199178, Russian Federation, e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru

Valeriya V. Muramovich, graduate student, Baltic State Technical University "VOENMEKH" D.F. Ustinova, 192241, St. Petersburg, 1st Krasnoarmeyskaya street, 1, e-mail: ler.mura@yandex.ru

Sergey N. Turusov, professor, Dr.Sci. (Eng), General Director, JSC all-Russian scientific research design and Technology Institute of electrical engineering (VNITI EM) 2, Blagodatnaya st., St. Petersburg, 196128, Russian Federation, e-mail: serniktur@yandex.ru

Поступила в редакцию: 15.10.2020
Принята к публикации: 15.01.2021

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КОРАБЛЯ, ОКЕАНА, АТМОСФЕРЫ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

УДК 681.883

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.005

Гидролокация с использованием хаотических зондирующих сигналов

Ш.С. Фахми^{1,2} e-mail: shakeebf@mail.ru, С.В. Горяинов² e-mail: svgorainov@etu.ru,
А.В. Калач³ e-mail: AVKalach@gmail.com

¹Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, ²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ³Воронежский государственный технический университет

Аннотация. В данной работе рассматривается подход к генерации зондирующего сигнала гидролокатора, основанный на применении систем с детерминированным хаосом. Рассматриваются актуальные подход к генерации зондирующего сигнала при проектировании гидролокаторов. Приводится описание полужавного метода Верле для произвольной системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Приводится методология построения композиционных схем для получения методов численного интегрирования произвольного порядка на основе симметричного опорного метода. Приводятся результаты компьютерного моделирования форм различных сигналов до и после прохождения через имитацию водной среды. Приводятся экспериментальные результаты оценки погрешности в распознавании сигнала при различных значениях соотношения сигнал/шум имитируемой среды, проводится сравнительная оценка в значениях, полученных с использованием различных сигналов. Приводятся результаты оценки устойчивости исследуемых сигналов к перекрёстным помехам, проведена сравнительная оценка рассмотренных подходов к генерации зондирующего сигнала. Сделаны выводы о применимости хаотических сигналов в качестве зондирующих

Ключевые слова: гидролокация, системы с детерминированным хаосом, зондирующий сигнал, методы численного интегрирования, компьютерный эксперимент.

Sonar using chaotic sounding signals

Shakeeb S. Fahmi^{1,2} e-mail: shakeebf@mail.ru, Sergey V. Goryainov² e-mail: svgorainov@etu.ru,
Andrey V. Kalach³ e-mail: AVKalach@gmail.com

¹Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, ²Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Russian Federation, ³Voronezh State Technical University

Abstract. In this paper, we consider an approach to generating a sonar sounding signal based on the use of systems with deterministic chaos. The current approach to the generation of sounding signal in the design of sonar is considered. The semi-implicit Wehrle method for an arbitrary system of ordinary differential equations is described. A methodology for constructing composite schemes for obtaining methods of numerical integration of arbitrary order based on the symmetric reference method is presented. The results of computer simulation of the forms of various signals before and after passing through the simulated water environment are presented. Experimental results of estimating the error in signal recognition at different values of the signal-to-noise ratio of the simulated environment are presented, and a comparative assessment is made in the values obtained using different signals. The results of the evaluation of the stability of the studied signals to crosstalk are presented, and a comparative evaluation of the considered approaches to the generation of the probing signal is carried out. Conclusions are drawn about the applicability of chaotic signals as probing signals

Keywords: sonar, systems with deterministic chaos, probing signal, numerical integration methods, computer experiment.

Введение

В институте проблем транспорта РАН проводятся исследования по разработке интеллектуальных систем обеспечения мониторинга экологической безопасности, безопасности жизнедеятельности человека, а также исследования по обнаружению, распознаванию, мониторингу и контролю движения морских судов [1,2], подводного наблюдения, картированию водоемов. При этом, основными средствами получения информации являются гидроакустические комплексы и цифровые камеры.

из наиболее важных задач при проектировании измерительных приборов, основанных на принципе приёма отражённого от препятствия сигнала (эхолокаторов, гидролокаторов и пр.), является повышение качественных свойств продуцируемого прибором изображения. Классическим подходом, сохранившимся до сих пор, является использование в качестве зондирующего гармонического сигнала с

внедрением различных вариаций линейной частотной модуляции (далее – ЛЧМ) [3, 4]. Потребность в поиске новых подходов к генерации сигнала вытекает из ряда проблем: возникновение перекрёстных помех (многократные отражения, взаимное влияние нескольких гидролокаторов и т.д.) при работе нескольких гидролокаторов со схожим сигналом, необходимость повышения дальности действия и разрешающей способности гидролокатора. Так, в условиях загруженных акваторий зачастую происходит ошибочное принятие сигнала одного гидролокатора другим, а затраты, требуемые на обеспечение бесперебойной работы множества гидролокаторов, построенных по одному принципу, превышают затраты, сопутствующие поочерёдной работе нескольких групп гидролокаторов [5, 6]. Одним из наиболее известных примеров ошибки в продуцируемом гидролокатором изображении является обнаруженный неопознанный летающий объект на дне Балтийского моря (рисунок

1), в дальнейшем признанный неточностью в работе гидролокационных приборов [7].

В работе рассматривается альтернативный подход к проектированию гидролокаторов: смена гармонического сигнала и его ЛЧМ вариаций, используемых в измерительном тракте, на сигнал, получаемый на основе численного решения системы с детерминированным хаосом (далее – хаотический сигнал).

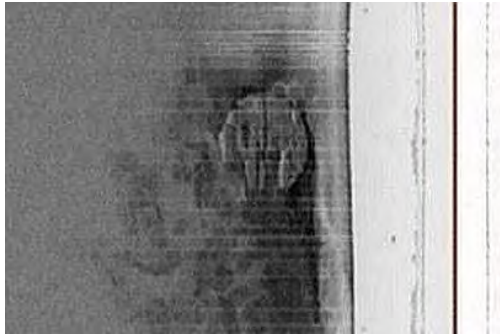


Рис. 1 – Артефакт, ошибочно принятый за НЛО

Использование хаотических сигналов определённого вида в качестве зондирующих может положительно повлиять на дальность действия гидролокатора, а также селективную способность и устойчивость к перекрёстным помехам за счёт широкого спектра хаотических сигналов [8].

$$\begin{aligned}x^{n+0.5} &= x^n + 0,5h \cdot f_x(x^n, y^n); \\y^{n+0.5} &= y^n + 0,5h \cdot f_y(x^{n+0.5}, y^n); \\y^{n+1} &= y^{n+0.5} + 0,5h \cdot f_y(x^{n+0.5}, y^{n+0.5}); \\x^{n+1} &= x^{n+0.5} + 0,5h \cdot f_x(x^{n+0.5}, y^{n+1}),\end{aligned}$$

Основной целью работы является исследование и сравнительная оценка качественных свойств хаотических и ЛЧМ сигналов.

$$\Psi_h = \Phi_{\delta_1 h} \circ \Phi_{\delta_2 h} \circ \dots \circ \Phi_{\delta_n h},$$

Экспериментальные исследования проводятся с помощью компьютерного эксперимента, при этом в качестве имитируемой среды, в которой будут распространяться сигналы была выбрана вода. Сигналы оцениваются с точки зрения следующих свойств: форма сигнала и его распознаваемость, устойчивость к шуму и перекрёстным помехам.

1. Системы с детерминированным хаосом

Системы с детерминированным хаосом являются подвидом хаотических систем [9]. Их ключевыми особенностями являются непериодического поведение во времени и сильная чувствительность к начальным условиям. Важным отличием от хаотических систем является наличие детерминистических законов эволюции во времени, что приводит к возможности точного воспроизведения поведения системы при условии точного воспроизведения начальных условий. В настоящий момент открыто большое количество систем с детерминированным хаосом такие как: аттрактор Лоренца, аттрактор Рёсслера, системы

Спротта и многие другие, но исследователям до сих пор удаётся найти новые системы.

Системы с детерминированным хаосом характеризуются сложным поведением во времени, а также наличием таких эффектов как бифуркации и сингулярности. Важным аспектом при работе с ними является правильный выбор математического аппарата, позволяющего с минимальными вычислительными затратами, требуемыми на работу алгоритма, сохранить устойчивое поведение системы, а также избежать её падения в нежелательные состояния, такие как квазихаотический режим.

2. Методы численного интегрирования

Хаотические системы характеризуются зависимостью не только от начальных условий, но и от выбранного метода моделирования. В данной работе в качестве метода интегрирования была выбрана композиционная схема Йошиды 6-го порядка точности с использованием метода Верле в качестве опорного.

Метод Верле представляет собой полунявный метод второго порядка, обладающий свойством симметричности и симплектичности [10]. Для произвольной системы второго порядка он может быть представлен в виде:

где n – начальный момент времени для работы алгоритма, $x^n..x^{n+1}$ и $y^n..y^{n+1}$ – значения переменных состояния системы в соответствующие моменты времени $n..n+1$, h – шаг интегрирования, f_x и f_y – функции приращения переменных.

Композиционные схемы представляют собой метод численного интегрирования произвольного порядка точности, полученного на основе симметричного опорного метода низкого порядка. Композиционные схемы характеризуются малыми вычислительными затратами, требуемыми для получения методов численного интегрирования высокого порядка точности [11]. Для произвольного количества опорных методов s общую формулу композиционного метода можно записать как:

где h – шаг интегрирования, $\Phi_{\delta_i h}$ – функция приращения опорного метода, Ψ_h – функция приращения искомого композиционного метода на одном шаге интегрирования.

В работах [10] и [12] приведены коэффициенты для построения композиционных схем различных порядков точности. В данной работе для проведения экспериментов и построения результатов в виде графиков зависимостей различных нелинейных хаотических методов был использован композиционный алгоритм шестого порядка, полученный на основе метода Верле с использованием следующих коэффициентов: $\delta_1 = \delta_7 = 0,78451361047$; $\delta_2 = \delta_6 = 0,2355732133$; $\delta_3 = \delta_5 = -1,17767998$; $\delta_4 = 1,3151863206$.

3. Экспериментальные результаты

Экспериментальная оценка исследуемых сигналов проводилась с использованием среды MATLAB.

В качестве хаотических сигналов были рассмотрены решения нескольких нелинейных хаотических систем: систем Спротт В, С, F, системы Прото-Лоренц, обобщённой системы Чуа, системы Дадрас-Момени, полученных с использованием

композиционной схемы, описанной ранее; для сравнительной оценки был взят ЛЧМ сигнал. Графики рассмотренных сигналов представлены на рисунке 2.

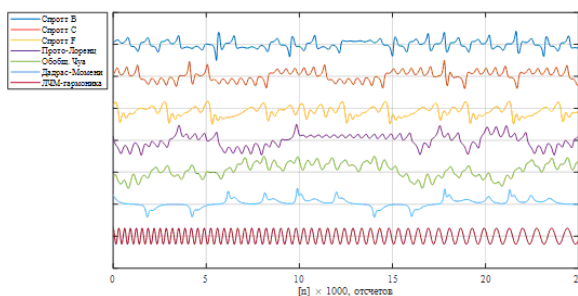


Рис.2 – Поведение исследуемых сигналов во временной области

На рисунке 3 представлено влияние имитированной водной среды на сигналы, полученные с использованием систем Спротт В, С, F, а также ЛЧМ сигнала.

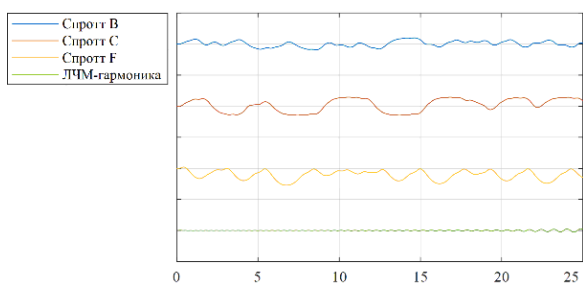


Рис.3 – Форма сигналов после имитации прохождения 1 км водной среды

Сравнивая графики сигналов на рисунке 2 и рисунке 3 можно увидеть, что все они были значительно искажены, однако, хаотические сигналы сохранили узнаваемые формы на всём временном интервале, в то время как ЛЧМ сигнал может быть распознан лишь на определённых частотах.

На рисунках 4 и 5 представлены влияние зашумлённости среды и перекрёстных помех на погрешность в распознавании сигналов.

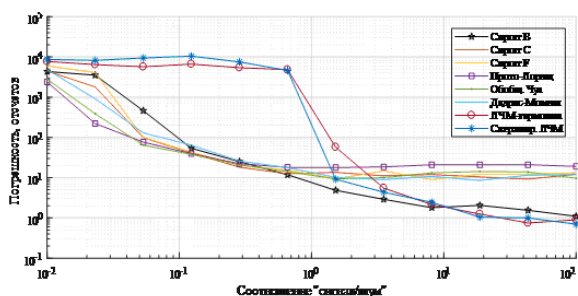


Рис.4 – Погрешность в распознавании сигнала при изменении соотношения сигнал/шум

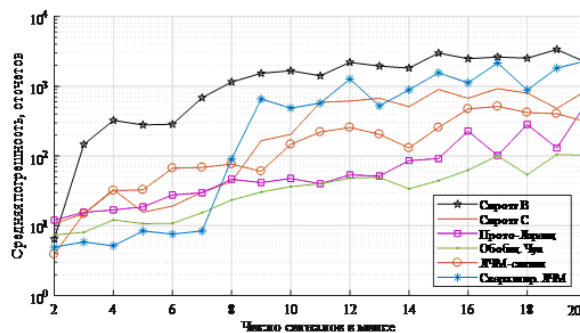


Рис.5 – Исследование устойчивости сигналов к перекрёстным помехам

Экспериментальные результаты позволяют сделать вывод, что погрешность в распознавании ЛЧМ сигналов стремительно увеличивается при соотношении сигнал/шум < 1 , в то время как хаотические сигналы сохраняют небольшую погрешность в распознавании вплоть до соотношения сигнал/шум = 0,1. В то же время не все хаотические сигналы оказались устойчивыми к перекрёстным помехам. Так, сигналы, полученные путём решения систем Спротт В и Спротт С уступают ЛЧМ сигналам при появлении большого числа сигналов в имитируемой среде.

Заключение

Результаты экспериментальных исследований демонстрируют положительный эффект от внедрения хаотических сигналов в качестве зондирующих: уникальное поведение каждой рассмотренной системы во времени приводит к значительно большому распознаваемости и устойчивости к шуму до 1 порядка по сравнению с ЛЧМ сигналами. В то же время, не все хаотические сигналы смогли превзойти ЛЧМ сигналы в устойчивости к перекрёстным помехам.

Перспективность использования хаотических сигналов в качестве зондирующих сигналов гидролокаторов обуславливается в улучшении качественных свойств продуцируемого сигнала, а также простотой генерации неповторяющегося сигнала за счёт использования свойств хаотических систем: незначительное изменение в начальных условиях моделирования системы приводит к значительным изменениям в эволюции системы во времени и генерации нового уникального сигнала. Данное свойство позволяет ценой незначительных затрат генерировать легко распознаваемый сигнал даже в условиях загроможденной сигналами среды.

Литература

1. Костикова Е.В., Фахми Ш.С., Хасан Я.А.А., Селиверстов С.А., Соболев А.В., Подопригора Н.В. Адаптивное спектральное кодирование изображений в системах видеонаблюдения // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 2-1 (48). С. 142-151.
2. Фахми Ш.С., Малыгин И.Г., Егоршев С.М., Крылов Ю.Е. Когнитивные транспортные видеосистемы // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 4 Том 1 (50). С. 142–154.

3. Бердышев В.П., Гарин Е.Н., Фомин А.Н. [и др.]. Радиолокационные системы / Под общ. ред. В.П. Бердышева. – Красноярск: СФУ, 2012.
4. Белов Б.П., Семенов Н.Н. Выбор типа зондирующего сигнала для активного гидролокатора с помощью теории передачи данных в каналах связи // Информационно-управляющие системы, 1(37)/2009, "Политехника". - СПб, 2009, - с. 47-52.
5. Elboth T., Shen H., Khan J. Advances in seismic interference noise attenuation. EAGE extended abstracts. Paris, 2017.
6. Демин А.Ю., Сорокин В.А., Анферов И.А., Хамухин А.А. Визуализация процесса имитационного моделирования группы автономных необитаемых подводных аппаратов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. No1(174). С.77-87.
7. Mikkelsen, David. "UFO at the Bottom of the Baltic Sea? Rumor: Photograph shows a UFO discovered at the bottom of the Baltic Sea". Urban Legends Reference Pages© 1995-2017 by Snopes.com. Snopes.com. Retrieved 1 August 2017.
8. Karimov T.I., Butusov D.N., Gulvanskiy V.V., Bogaevskiy D.V. Comparison of Chirp and Chaotic Wideband Signals for Hydroacoustics // Progress In Electromagnetics Research Symposium - Fall (PIERS – Fall), Singapore, November 19-22, 2017 (ISBN 978-1-5386-1211-8, DOI: 10.1109/PIERS-FALL.2017.8293562, Scopus id=2-s2.0-85045323365, WOS:000428518302098).
9. Физическая энциклопедия, статья Г. М. Заславский, Н. А. Кириченко, «Динамический хаос».
10. W. Kahan, R.-C. Li, Composition constants for raising the orders of unconventional schemes for ordinary differential equations, Mathematics of computation vol. 66, no. 219, July 1997, pp. 1089-1099.
11. Бутусов Д.Н., Андреев В.С., Пестерев Д.О. Композиционные полуневявные методы моделирования хаотических систем // Сборник докладов XIX Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM - 2016). 25–27 мая, 2016. СПб. Изд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». с. 339–342.
12. Yoshida H. Construction of higher order symplectic integrators, Physics letters a, vol. 150, number 5, 6, 7, 12 November 1990.

References

1. Kostikova E.V., Fahmi Sh.S., Khasan Ya.A., Seliverstov S.A., Sobolev A.V., Podoprigora N.V. Adaptive spectral encoding of images in video surveillance systems// Marine intelligent technologies. 2020. No. 2-1 (48). pp. 142-151.
2. Fahmi Sh.S., Malygin I.G., Yegorshev S.M., Krylov Yu.E. Cognitive transport video systems // Marine intellectual technologies. 2020. No. 4 Volume 1 (50). pp. 142-154.
3. Berdyshev V.P., Garin E.N., Fomin A.N. [et al.]. Radar systems. under the general editorship of V. P. Berdyshev. - Krasnoyarsk: SFU, 2012.
4. Belov V.P., Semenov N.N. Choosing the type of sounding signal for active sonar using the theory of data transmission in communication channels, Information and control systems, 1(37) / 2009, "Polytechnic". - SPb, 2009, - 47-52s.
5. Elboth T., Shen H., Khan J. Advances in seismic interference noise attenuation. EAGE extended abstracts. Paris, 2017.
6. Demin A.Yu., Sorokin V.A., Anferov I.A., Khamukhin A.A. Visualization of the process of simulation modeling of a group of autonomous uninhabited underwater vehicles. Technical sciences. 2016. No1(174). pp. 77-87.
7. Mikkelsen, D. "UFO at the Bottom of the Baltic Sea? Rumor: Photograph shows a UFO discovered at the bottom of the Baltic Sea". Urban Legends Reference Pages© 1995-2017 by Snopes.com. Snopes.com. Retrieved 1 August 2017.
8. Karimov T.I., Butusov D.N., Gulvanskiy V.V., Bogaevskiy D.V. Comparison of Chirp and Chaotic Wideband Signals for Hydroacoustics // Progress In Electromagnetics Research Symposium - Fall (PIERS – Fall), Singapore, November 19-22, 2017 (ISBN 978-1-5386-1211-8, DOI: 10.1109/PIERS-FALL.2017.8293562, Scopus id=2-s2.0-85045323365, WOS:000428518302098).
9. Physical Encyclopedia, article by G. M. Zaslavsky, N. A. Kirichenko, "Dynamic chaos".
10. Kahan W., Li R.-C., Composition constants for raising the orders of unconventional schemes for ordinary differential equations, Mathematics of computation vol. 66, No. 219, July 1997, pp. 1089-1099.
11. Butusov D.N., Andreev V.S., Pesterev D.O. Composite polonijny methods of modeling chaotic systems // Collection of papers of the XIX International conference on soft computing and measurements (SCM - 2016). May 25-27, 2016. SPb. Ed. Etu "LETI". p. 339-342.
12. Yoshida H., Construction of higher order symplectic integrators, Physics letters a, vol. 150, No 5, 6, 7, 12 November 1990.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шакиб Субхиевич Фахми, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 197376 г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5, корпус 1, помещение 11-53, Тел. +7(812) 234-36-75., Ведущий научный сотрудник Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, д.13., Тел. +7(812) 321-95-68. e-mail: shakeebf@mail.ru

Сергей Валентинович Горяинов, аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования, прикладной информатики, Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 197376 г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5, корпус 1, помещение 11-53., Тел. +7(812) 234-36-75. e-mail: svgoryainov@etu.ru

Андрей Владимирович Калач, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры техносферной и пожарной безопасности, Воронежского государственного технического университета, 394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84. Тел. +7(473) 252-19-39. e-mail: AVKalach@gmail.com

Shakeeb S. Fahmi, senior lecturer, Dr.Sci. (Eng), Professor of the Department of computer-aided design, Saint Petersburg Electrotechnical University 'LETI', room 11-53, building 1, 5, Professor Popov str., St. Petersburg, 197376, Russian Federation, Tel. +7(812) 234-36-75.,

Leading researcher of the Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science, 13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199178, Russian Federation; Tel. +7(812) 321-95-68. e-mail: shakeebf@mail.ru

Sergey V. Goryainov, Graduate student of the Department of computer-aided design, Saint Petersburg Electrotechnical University 'LETI', room 11-53, building 1, 5, Professor Popov str., St. Petersburg, 197376, Russian Federation., Tel. +7(812) 234-36-75. e-mail: svgoryainov@etu.ru

Andrey V. Kalach, Dr.Sci.(Chemical), Professor, Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, 394006 Voronezh, ul. 20-letiya Oktyabrya, 84, Tel. +7(473) 252-19-39. e-mail: AVKalach@gmail.com

Поступила в редакцию: 15.10.2020
Принята к публикации: 12.01.2021

Повышение безопасности судовождения при плавании судна на мелководье

В.И. Истомин¹ e-mail: v-istomina@mail.ru, В.М. Цалоев¹ e-mail: 1._@mail.ru,
В.В. Хлебникова¹ e-mail: v-istomina@mail.ru, С.Е. Тверская¹ e-mail: SETverskaya@sevsu.ru
¹Севастопольский государственный университет

Аннотация. В статье проведен анализ влияния мелководья на поведение судна, которое зависит не только от глубины моря, но и от габаритов судна и его скорости. Мелководье оказывает существенное влияние на маневренные характеристики судна: при неизменной мощности главного двигателя скорость уменьшается, диаметр циркуляции и тормозной путь увеличиваются, посадка изменяется, проседание корпуса возрастает. Скорость является одним из основных параметров при движении судна на мелкой воде. Ее неправильный расчет может иметь крайне негативные последствия. В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что мелководье в значительной степени снижает скорость судна. Также увеличение скорости судна на мелководье приводит к более значительному падению скорости на 22,6%. На мелководье наблюдается значительное проседание судна (увеличение осадки). Например, при глубине моря 30 метров, осадке 12 метров и скорости судна 15 узлов, осадка судна увеличивается на 0,56 метров, что необходимо обязательно учитывать при движении на мелководье для предотвращения аварии судна и повышения безопасности мореплавания.

Ключевые слова: безопасность судовождения, габариты судна, мелководье, снижение скорости, проседание судна, давление жидкости, управление судном, предотвращение аварий, осадка, свойство неразрывности воды

Improving the safety of navigation when navigating a vessel in shallow water

Valeriy I. Istomin¹ e-mail: v-istomina@mail.ru, Vladimir M. Tsaloev¹ e-mail: 1._@mail.ru,
Viktoria V. Hlebnikova¹ e-mail: v-istomina@mail.ru, Svetlana E. Tverskaya¹ e-mail: SETverskaya@sevsu.ru
¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract. The article analyzes the influence of shallow water on the behavior of the ship, which depends not only on the depth of the sea, but also on the size of the ship and its speed. Shallow water has a significant impact on the maneuverability characteristics of the vessel: with the main engine power unchanged, the speed decreases, the circulation diameter and braking distance increase, the landing changes, and the hull subsidence increases. Speed is one of the main parameters when moving a ship in shallow water. Its incorrect calculation can have extremely negative consequences. As a result of the conducted research, it can be concluded that shallow water significantly reduces the speed of the vessel. Also, an increase in the speed of the vessel in shallow water leads to a more significant drop in speed by 22.6%. In shallow water, there is a significant subsidence of the vessel (increased precipitation). For example, when the sea depth is 30 m, the draft is 12 m and the ship speed is 15 knots, the draft increases by 0.56 m, which must be taken into account when moving in shallow water to prevent a ship accident and improve the safety of navigation.

Keywords: navigation safety, vessel dimensions, shallow water, speed reduction, vessel subsidence, fluid pressure, ship management, accident prevention, sediment, water continuity property.

Введение

Влияние мелководья на поведение судна зависит не только от глубины моря, но и от габаритов судна и его скорости. При рассмотрении движения судна относительно воды можно в равной степени говорить о движении воды относительно судна [2,3,4,10]. Таким образом, частицы воды, встречающие на своем пути корпус судна, вынуждены его обогнуть вдоль бортов и днища (рис.1).

Поскольку вода обладает свойством неразрывности, то вытесняемые в стороны частицы воды, двигаясь по криволинейной траектории, за то же самое время должны пройти больший путь чем частицы, движущиеся по прямой. Следовательно, скорость частиц, обтекающих судно, выше скорости частиц, движущихся по прямой. Кроме того, эти частицы, находившиеся в состоянии покоя относительно грунта, образуют поток, движущийся относительно грунта в направлении, встречном направлению движения судна [1,2,3,7,8,9].

Термин «скоростное проседание» обозначает разность между глубинами под килем движущегося судна и судна, не имеющего хода относительно воды.

Причиной скоростного проседания судна является следующий физический процесс, происходящий вокруг движущегося судна [1,2].

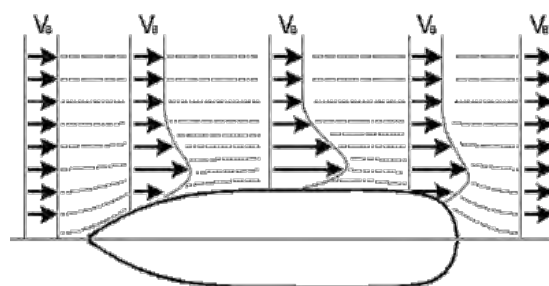


Рис. 1. Относительное движение воды

Зависимость между скоростью потока жидкости и давлением жидкости на данном участке описывается уравнением Бернулли:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V_{в}^2}{2g} = const$$

где P — давление жидкости на данном участке;

γ — плотность жидкости;

$V_{в}$ — скорость потока.

Из выражения видно, что если на каком-либо участке скорость движения жидкости увеличивается,

то для сохранения равенства должно понизиться давление.

Следовательно, во время движения судна, чтобы выражение сохранялось, вокруг судна происходит падение давления, а, следовательно, и уровня воды (рис. 2) [1,5,6,7,8].

Это и является причиной скоростного проседания судна. Из выражения (3) видно, что чем больше скорость потока, движущегося вдоль корпуса судна, тем больше падает давление, и тем значительнее проседание судна.

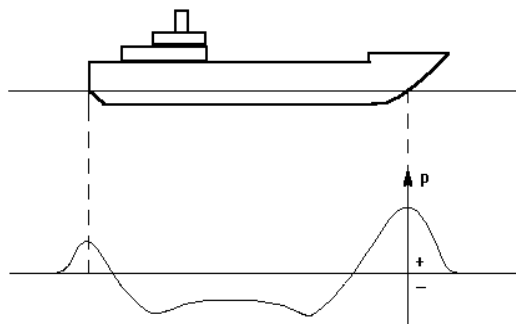


Рис. 2. Падение давления и уровня воды

Поле вызванных скоростей не симметрично относительно миделя, следовательно, не симметрично и поле давления воды вдоль движущегося судна. В носовой части формируется поле повышенного давления за счет лобового сопротивления формы корпуса, замедляющего набегающий поток. В кормовой части замедление потока, огибающего судно, (а, следовательно, и повышение давления) происходит за счет влияния «попутного потока», движущегося вместе с судном. Однако, работа винта, создающего дополнительное разряжение воды у кормовой оконечности, существенно влияет на результирующую величину поля давлений [1,2].

Участки повышенного давления в носовой и кормовой оконечностях имеют разную природу и разные величины, зависящие от многих параметров погруженной части корпуса. Несимметричность поля давления вдоль корпуса приводит к тому, что скоростное проседание происходит с изменением дифферента судна. Для большинства судов, имеющих обычную конфигурацию корпуса (без носового бульба), характерно проседание с дифферентом на корму.

2. Изложение основного материала

Мелководье оказывает существенное влияние на маневренные характеристики судна: при неизменной мощности ГД скорость уменьшается, диаметр циркуляции и тормозной путь увеличиваются, посадка изменяется, проседание корпуса возрастает.

Влияние мелководья начинает проявляться при глубине:

$$H \leq 4d_{cp} + 3V^2/g, [м] \quad (1)$$

где d_{cp} – средняя осадка судна;

V – скорость судна;

g – ускорение свободного падения, м/с².

При решении практических задач управления судном мелководьем можно считать, когда

отношение глубины к осадке судна $H/d < 2 \div 3$. Для расчета скорости на мелководье может быть применена формула:

$$V_M = k_v k_\delta k_{B/d} V_\infty, \quad (2)$$

где V_M — скорость судна на мелководье, м/с;

V_∞ — скорость судна на глубокой воде, м/с;

k_v — коэффициент пропорциональности (табл. 1);

k_δ — коэффициент пропорциональности на полноту водоизмещения подводной части корпуса судна (табл. 2);

$k_{B/d}$ — коэффициент пропорциональности отношения ширины судна к осадке B/d (таблица 3).

Как показывает практика причиной аварий на мелководье являются неправильные действия со стороны судоводителей, заключавшиеся в ошибочном выборе скорости судна. Скорость является одним из основных параметров при движении судна на мелкой воде. Ее неправильный расчет может иметь крайне негативные последствия.

На основании многочисленных макетных и натуральных испытаний, были созданы таблицы нахождения коэффициентов пропорциональности, необходимых для расчетов падения скорости на мелкой воде [3].

Таблица 1

Значения коэффициента, k_v

H/d	Скорость V_∞ на глубокой воде, уз								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98
3,0	1,00	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96
2,5	0,99	0,98	0,98	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93
2,0	0,98	0,97	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90	0,90
1,5	0,96	0,94	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86
1,3	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83
1,25	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83
1,10	0,94	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,83	0,83	0,82

Таблица 2

Значения коэффициента k_δ

δ	0,7–0,75	0,75–0,80	0,80–0,85
k_δ	1	0,973	0,947

Таблица 3

Значения коэффициента $k_{B/d}$

B/d	2,0	2,5	3,0	3,5
$k_{B/d}$	1,026	1,0	0,973	0,947

Согласно формуле 2 рассчитаем падение скорости на мелководье для судна река-море в зависимости от глубины $H = 12, 10, 8, 6$ м.

Принимаем, что средняя осадка судна $d_{cp} = 3,63$ м, скорость судна на глубокой воде $V_\infty = 10$ уз, тогда по таблице 1 находим значение k_v в зависимости от H/d :

$$k_{v12} = 1, k_{v10} = 0,98, k_{v8} = 0,97, k_{v6} = 0,92.$$

Зная осадку и размеры судна найдем по таблице 2 и 3 значения коэффициентов $k\delta = 0,973$ и $kB/d = 0,947$.

Рассчитаем V_M для $H = 12$ м, $V_M = 9,2$ уз; $H = 10$ м, $V_M = 9$ уз; $H = 8$ м, $V_M = 8,9$ уз; $H = 6$ м, $V_M = 8,2$ уз.

На основании полученных данных рассчитывается уменьшение скорости судна в зависимости от глубины при скорости судна $V_\infty = 10$ уз (таблица 4).

Таблица 4
Уменьшение скорости судна в зависимости от глубины

H, м	V_M , уз	ΔV , уз
12	9,2	0,8
10	9	1
8	8,9	1,1
6	8,2	1,8

Из анализа таблицы 4 можно видеть, что падение скорости на мелководье может достигать до 18 % по сравнению с глубокой водой. Что является очень высоким результатом и может сильно повлиять на маневренные характеристики судна, тем самым создав опасную ситуацию.

Практическое применение таблиц, приведенных выше, позволит судоводителям более обоснованно выбирать оптимальный курс судна с учетом глубин, более точно вести счисление судна, что, в конечном счете, повысит безопасность плавания. Эмпирическая формула (2) позволяет определить величину изменения скорости на мелководье с погрешностью $\pm 2-3$ %.

Натурные эксперименты показали, что режим работы двигателя на мелководье при поддержании постоянной частоты вращения винта является чрезвычайно тяжелым и нормальная эксплуатация двигателя не может быть обеспечена без снижения мощности двигателя с уменьшением глубин. На основании этого рекомендуется при плавании на мелководье при $H/d < 3$ всережимный регулятор двигателя отключать и переходить на постоянную подачу топлива во избежание перегрузки главного двигателя.

Влияние мелководья начинает заметно сказываться при переходе за скорости, равные $0,6V_{кр}$, когда высота и длина создающихся при движении судна поперечных волн начинают резко возрастать. По мере увеличения скорости увеличивается и угол, составляемый гребнями волн с ДП судна. При скорости $V \geq 0,75V_{кр}$ поперечные и расходящиеся волны совмещаются в одну общую поперечную волну, достигающую наибольших

размеров при скорости $V = (0,9 \div 1,0) \sqrt{gH}$ и имеющую вид поперечного вала, движущегося вместе с судном несколько впереди форштевня. В кормовой части судна несколько впереди ахтерштевня также создаются поперечные волны, которые распространяются далеко по обе стороны от судна. Вместе с ростом волнообразования растет и сопротивление воды движению судна, перегружается двигатель, возрастает расход топлива, повышается износ двигателя. Поэтому увеличивать скорость судна до значений, больших $0,80V_{кр}$, нецелесообразно. Скорость судов в канале назначается в пределах 4–12 уз, однако она не должна превышать величины $0,9V_{кр}$.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что мелководье в значительной степени снижает скорость судна. Также увеличение скорости судна на мелководье приводит к более значительному падению скорости на 22,6%. Проанализировав результаты расчетов можно сказать, что для выбора безопасного пути следует выбирать как можно глубокие участки следования судна, а проходить мелководье следует заранее снизив скорость хода, чтобы уменьшить нагрузку на двигатель и тем самым сделать рейс более безопасным.

На мелководье наблюдается значительное проседание судна (увеличение осадки). Например, при глубине моря 30м, осадке 12м и скорости судна 15 узлов, осадка судна увеличивается на 0,56м, что необходимо обязательно учитывать при движении на мелководье для предотвращения аварии судна и повышения безопасности мореплавания.

Литература

1. Агалаков В.С., Капустин В.В., Ткаченко В.Г. Гидрометеорология на службе безопасного мореплавания, - Севастополь: Изд-во СевГУ, 2016, С. 51-56.
2. Аксютин Л.Р. Справочник капитана дальнего плавания / Л.Р. Аксютин, В.М. Бондарь, Г.Г. Ермолаев и др. под редакцией Г.Г. Ермолаев — М.: Транспорт, 1988, 248 с.
3. Ермолаев Г.Г. Морская лодия, 4-е изд., переработанное и доп. — М.: Транспорт, 1982, 392 с.
4. Денисов А.С. Навигационная безопасность мореплавания / А.С. Денисов, Л.Е. Курочкин, А.Г. Нестеров — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002, 152 с.
5. Истомин В.И., Кот В.П., Тверская С.Е. Повышение эффективности морских грузоперевозок путем использования экономических ходовых режимов, — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2016, С. 33-36.
6. Истомин В.И., Самойленко Н.Д., Тверская С.Е., Хлебникова В.В. Рекомендации по разработке плана управления энергоэффективностью судов, — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2016, С. 37-41.
7. Nikitin Y.V. Fundamentals of Ship Theory. Volume 1. Stability of Ship. — Севастополь: СВМИ им. П.С. Нахимова, 2002, 130 с.
8. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974г. (СОЛАС-74). (Консолидированный текст, измененный протоколом 1988 года к ней с поправками). — СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2015, 1088 с.
9. Раков А.И., Жибоедов В.В. Надводный борт, как показатель безопасных малых морских судов различного назначения — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2016, С. 25-27.
10. Российский Морской Регистр Судостроения: Правила классификации и постройки морских судов /Том 1/ НД №2-02001-052. - СПб., 2008, 500 с.

References

1. Agalakov V. S., Kapustin V. V., Tkachenko V. G. Hydrometeorology in the service of safe navigation Sevastopol [Gidrometeorologiya na sluzhbe bezopasnogo moreplavaniya]. SevSU, Publishing House, 2016, S. 51-56.
2. Aksyutin L.R. Reference book of the captain of the long voyage [Spravochnik kapitana dal'nego plavaniya]. L.R. Aksyutin, V.M. Bondar, G.G. Ermolaev and others, edited by G.G. Ermolaev – M.: Transport, 1988, 248 p.
3. Ermolaev G.G. Sea navigation / G.G. Yermolaev, 4th ed., Revised and enlarged [Morskaya lociya]. - M.: Transport, 1982, 392 p.
4. Denisov A.S. Navigational safety of navigation [Navigacionnaya bezopasnost moreplavaniya]. A.S. Denisov, L.E. Kurochkin, A.G. Nesterov, Sevastopol: SevNTU, Publishing House, 2002, 152 p.
5. Istomin V. I., Kot V. P., Tverskaya S. E. Improving the efficiency of marine cargo transportation by using economic running modes [Povyshenie effektivnosti morskikh gruzoperevozok putem ispol'zovaniya ekonomicheskikh hodovykh rezhimov]. SevSU, Publishing House, 2016, S. 33-36.
6. Istomin V. I., Samoilenko N. D., Tverskaya S. E., Khlebnikova V. V. Recommendations for the development of the ship energy Efficiency management plan Sevastopol [Rekomendacii po razrabotke plana upravleniya energoeffektivnostyu sudov]. SevSU, Publishing House, 2016. S. 37-41.
7. Nikitin Y.V. Fundamentals of Ship Theory. Volume 1. Stability of Ship Sevastopol: SVMU named after P. S. Nakhimov, 2002, 130 p.
8. International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974 (SOLAS-74). (Consolidated text, as amended by the 1988 Protocol), St. Petersburg: ZAO TSNIIMF, 2015, 1088 p.
9. Rakov A. I., Zhiboedov V. V. Nadvodny bort, as an indicator of safe small sea vessels of various purposes [Nadvodnyj bort, kak pokazatel bezopasnykh malyh morskikh sudov razlichnogo naznacheniya] SevSU, Publishing House, 2016, S. 25-27.
10. Russian Maritime Register of Shipping: Rules of classification and construction of marine vessels [Pravila klassifikacii i postrojki morskikh sudov]. Volume 1, ND No. 2-02001-052, St. Petersburg, 2008, 500 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Валерий Иванович Истомин, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Судовождение и безопасность судоходства», Севастопольский государственный университет, 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: v-istomina@mail.ru

Владимир Муратович Цалоев, доцент кафедры «Судовое электрооборудование», Севастопольский государственный университет, 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: 1._@mail.ru

Виктория Валерьевна Хлебникова, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Менеджмент и бизнес-аналитика», Севастопольский государственный университет, 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: v-istomina@mail.ru

Светлана Евгеньевна Тверская, кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений», Севастопольский государственный университет, 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: SETverskaya@sevsu.ru

Valeriy I. Istomin, Dr. Sci. (Eng), Professor, Professor of the Department «Navigation and safety of shipping», Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation, e-mail: v-istomina@mail.ru

Vladimir M. Tsalojev, assistant of professor of the Department «Ship's electric equipment», Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation, e-mail: 1._@mail.ru

Viktoriya V. Hlebnikova, Ph.D. (Econ), assistant of professor of the Department «Management and Business Intelligence», Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation, e-mail: v-istomina@mail.ru

Svetlana E. Tverskaya, Ph.D. (Eng), assistant of professor of the Department «Ship's electric equipment», Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation, e-mail: SETverskaya@sevsu.ru

Поступила в редакцию: 14.12.2020
Принята к публикации: 15.02.2021

Кодирование без потерь и передача изображений морских судов в условиях ограничения канала связи

О.А. Королёв¹ e-mail: korolev@iptran.ru, Ш.С. Фахми^{1,2} e-mail: shakeebf@mail.ru,
Е.В. Костикова³ e-mail: kostikova.ev@mail.ru

¹Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, ²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ³Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова

Аннотация. В статье раскрывается актуальность развития методов кодирования и передачи изображений для их применения на морском транспорте. Ограниченная доступная память и пропускная способность канала, необходимые для передачи больших объёмов визуальных данных, делают сжатие изображений актуальным в устройствах передачи цифровых изображений. Однако вся обработка изображений сталкивается с проблемой избыточности данных. Главная задача сжатия состоит в том, чтобы обеспечить минимальную битовую скорость передачи с максимальным сохранением качества передаваемых изображений при заданной точности. В данной статье предлагается новый метод кодирования на основе пирамидально-рекурсивного разбиения исходного изображения по заданному порогу (коэффициенту корреляции) яркости. Описываются алгоритмы процесса сжатия (кодирования) и декодирования на основе пирамидально-рекурсивного метода. Приводятся сравнение всех методов кодирования и оценки каждого при сохранении качества восстановленных изображений. Делается вывод, что предлагаемый метод обеспечивает большую степень сжатия ценой двукратного увеличения вычислительной сложности, выраженной числом операций на пиксель по сравнению с известными методами сжатия без потерь.

Ключевые слова: сжатие без потерь, пирамидально-рекурсивный метод, степень сжатия, сложность алгоритмов, точность восстановления

The lossless encoding and transmission of ships images in the conditions of limited channel

Oleg A. Korolev¹ e-mail: korolev@iptran.ru, Shakeeb S. Fahmi^{1,2} e-mail: shakeebf@mail.ru,
Elena V. Kostikova³ e-mail: kostikova.ev@mail.ru

¹Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, ²Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Russian Federation, ³Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article reveals the relevance of the development of methods of encoding and transmitting images and their application for maritime transport. The limited available memory and channel bandwidth required to transfer large amounts of visual data make image compression relevant in digital image transfer devices. However, all image processing faces the problem of data redundancy. The main task of compression is to provide the minimum bit rate with the maximum preservation of the quality of the transmitted images at a given accuracy. In this paper, we propose a new coding method based on the pyramidal-recursive partitioning of the original image by a given threshold (correlation coefficient) of brightness. Algorithms of the compression (encoding) and decoding process based on the pyramid-recursive method are described. A comparison of all encoding methods and the evaluation of each one while maintaining the quality of the restored images is presented. It is concluded that the proposed method provides a higher compression rate at the cost of doubling the computational complexity expressed by the number of operations per pixel compared to the known lossless compression methods.

Keywords: lossless compression, pyramidal-recursive method, compression ratio, complexity of algorithms, the accuracy of recovery

Введение

Морские перевозки являются наиболее энергоэффективным средством транспортировки больших объёмов грузов на большие расстояния. Центральная роль морского транспорта в мировой логистической системе очевидна в статистических оценках Международной морской организации: около 90% мировой торговли осуществляется морским транспортом, и объёмы торговли по-прежнему растут даже быстрее, чем в мировой экономике [1]. Рост мировой экономики и торговли приводит к увеличению спроса на большее количество судов с большей грузоподъёмностью и более высокой скоростью движения, а также подчеркивает озабоченность по поводу безопасности на море. Обеспечение последней сегодня связывают с ускоренным развитием информационных технологий

[2] глубокой интеллектуализацией систем управления морских судов, а также иных элементов судна, реализующих функцию автономного беспилотного движения. Особенности актуальности таких технологий в границах развития четвертой промышленной революции обсуждаются, в частности, в статье Малыгина И.Г. [2]. При этом актуальным остается решение проблемы мониторинга и контроля движения морских судов, особенно в акваториях с высокой интенсивностью движения и повышение эффективности работы видеоинформационных систем на морском транспорте [3].

Приём, сжатие и передача изображений морских судов представляется наиболее острой проблемой с точки зрения оперативного реагирования и передачи видеоинформации в реальном времени.

1. Постановка задачи исследования

Методы сжатия изображений подразделяются на две категории: сжатие с потерями и сжатие без потерь. При сжатии изображения без потерь качество изображения будет таким же, как и у исходного изображения. Эта техника в основном используется в области медицины, технического рисования или комиксов. В технике сжатия изображений с потерями оно подвергается риску потери некоторых данных из исходного изображения, а степень сжатия обратно пропорциональна качеству восстановленных изображений. Методы с потерями нашли свое применение в сжатии видео и звука, где потери информации человеческому глазу не заметны.

В данной статье представлены различные методы и алгоритм, используемые для сжатия изображений морской специфики, где имеются высокие степени корреляции соседних элементов в виде фона - неба и моря. Основная задача в сжатии изображения заключается в уменьшении размера изображения для целей хранения и передачи без ухудшения качества изображения (рис. 1).

Другой немало важной оценкой эффективности является вычисление сложности алгоритмов сжатия изображений с целью определения необходимого количества вентилей для аппаратной реализации на основе технологии «система на кристалле» [4].

2. Предлагаемые адаптивные алгоритмы сжатия без потерь

В данной статье предлагается новый метод кодирования на основе пирамидально-рекурсивного разбиения исходного изображения на полигоны различной формы и размера, а для реализации предложенного метода разработаны два принципиально отличающихся друг от друга подхода в решении задач сжатия видеоданных без потерь:

1 на основе адаптивного косинусного преобразовании (АКП) [5, 6];

2 на основе адаптивного пространственного преобразовании (АПП) по опорным точкам [7].

2.1. Алгоритмы АКП

Алгоритмы сжатия на основе АКП основаны на применении адаптивного дискретного косинусного преобразования (ДКП) и включают следующие шаги (рис. 2):

- рекурсивное разбиение исходного изображения на сегменты размером $n \times n$ пикселей ($n = 4, 8, 16$ и т.д.) путем задания соответствующего порога по яркости и формирование неравномерной сетки блоков ДКП;
- анализ сегмента на наличие мелких деталей;
- если имеются мелкие детали, то разбиение сегмента, иначе переход к следующему пункту;
- применение к каждому сегменту двумерное 2D-ДКП по следующим формулам:

Входной сигнал $F(j, k)$ и ДКП коэффициенты $S(u, v)$ связаны следующими соотношениями:

- прямое косинусное преобразование:

$$S(u, v) = \frac{2}{N} C(u) C(v) \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} F(j, k) \cos \left[\frac{\pi}{N} u \left(j + \frac{1}{2} \right) \right] \cos \left[\frac{\pi}{N} v \left(k + \frac{1}{2} \right) \right], \quad (1)$$

где j, k – координаты пикселя в пределах сегмента, n – размер сегмента ДКП (размер квадратной матрицы - сегмента исходного), изображения, u, v – координаты пикселя в пределах нового сегмента.

- обратное косинусное преобразование:

$$F(j, k) = \frac{2}{n} \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} C(u) C(v) S(u, v) \cos \left[\frac{\pi}{N} u \left(j + \frac{1}{2} \right) \right] \cos \left[\frac{\pi}{N} v \left(k + \frac{1}{2} \right) \right], \quad (2)$$

где $C(i) = (2)^{-1/2}$, для всех $i = 0$ и $C(i) = 1$ для всех $i > 0$.



Рис. 1. Процесс сжатия изображений

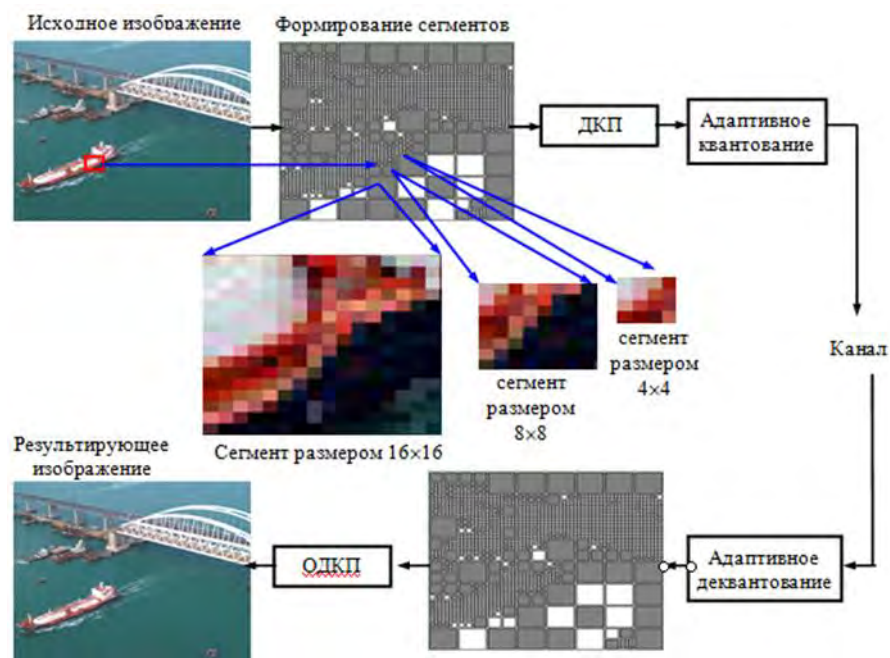


Рис. 2. Процесс адаптивного косинусного преобразования изображений

- адаптивное квантование полученных трансформант по формуле [8]:

$$Q[l][l] = 1 + (1+i+j)QF;$$

Под адаптивным квантованием понимается следующее. Если трансформанты ДКП расположены в строке матрицы ДКП, то применяется горизонтальное сканирование для последующего энтропийного кодирования, а если расположены в столбце, то вертикальное, иначе зигзагообразное сканирование (как в JPEGe).

После чего происходит подбор соответствующего коэффициента качества для синтеза матрицы квантования, при котором достигается равенство скорости передачи и пропускной способности канала при нулевой ошибке сжатия.

Степень сжатия зависит от характеристик конкретного изображения и требуемого качества восстановления для конкретного приложения. Достижимый коэффициент сжатия оценивается величиной порядка не более 1,7.

С точки зрения статистической обработки сигнала ДКП является неплохим приближением оптимального дискретного преобразования Карунена–Лоэва для марковских процессов первого порядка. Преобразование Карунена–Лоэва оптимально в плане уплотнения энергии, т. е. имеет наименьшее среди унитарных преобразований количество коэффициентов. Однако оно зависит от статистики сигнала, поэтому сложно и объёмно в вычислительном смысле. В этом отношении ДКП составляет ему достойную альтернативу с точки зрения скорости и сложности алгоритмов вычисления.

При выполнении ДКП (1) квадратной матрицы из $n \times n$ элементов изображения получается квадратная матрица тоже из $n \times n$ коэффициентов ДКП, выраженных действительными числами. Операция ДКП не изменяет количества передаваемой

информации, а создает основу для последующего значительного уменьшения объема видеоинформации после кодирования. Возможность сокращения скорости цифрового потока при помощи ДКП основана на статистических свойствах пространственно-частотного спектра реальных изображений и на ограниченной способности зрительного восприятия.

Количество передаваемой информации уменьшается путем соответствующего квантования части или всех передаваемых коэффициентов, в результате которого уменьшается количество двоичных разрядов, используемых для представления этих коэффициентов, а из-за однородных областей на морских изображениях многие коэффициенты становятся равными нулю.

Алгоритм позволяет исследовать уменьшение скорости цифрового потока за счет управления отбрасыванием части информации. Поэтому изображение, получаемое с помощью обратного ДКП в приемной части системы, будет идентично исходному изображению. Следовательно, данный метод кодирования относится к методам кодирования без потерь. Отбрасываемая информация оказывается несущественной для зрительного восприятия, а возникающие изменения и искажения не снижают или почти не снижают его субъективно воспринимаемого качества.

Адаптивное квантование позволяет в зависимости от расположения трансформант ДКП выполнить один из следующих способов сканирования: горизонтальное, вертикальное или зигзагообразное. Подробное описание данного адаптивного квантования рассмотрено в статье [8].

Таким образом, использование ДКП в сочетании с последующим оптимальным адаптивным квантованием коэффициентов ДКП обеспечивает уменьшение количества передаваемой информации без потерь.

2.2. Алгоритмы АПП

Важнейшей задачей при восстановлении сжатых изображений является интерполяция яркостей соседних пикселей при максимально возможном сохранении качества видеoinформации.

Цифровая интерполяция изображений — это процедура восстановления непрерывной поверхности интенсивности из дискретных значений яркостей пикселей изображений. Процедура преобразования сигнала из дискретной формы в непрерывную — это связующее звено между дискретным и непрерывным сигналами изображений.

В общем, почти каждое геометрическое преобразование требует выполнения интерполяции на изображении, например, перевод, поворот, масштабирование, деформирование или другие приложения. Такие операции являются базовыми для любого коммерческого программного обеспечения в области обработки мультимедиа.

Существует несколько проблем, влияющих на воспринимаемое качество интерполированных изображений: резкость краев, свобода от артефактов и реконструкция высокочастотных деталей.

Классические методы, такие как репликация пикселей, билинейная или бикубическая интерполяция, имеют проблему размытых краев или артефактов вокруг краев. Хотя эти методы сохраняют низкочастотное составляющее объектов изображения, они не могут восстановить высокие частоты, которые обеспечивают изображение визуальной четкостью качественным контрастом.

Стандартные методы интерполяции часто основаны на попытках генерировать непрерывные данные из набора дискретных выборок данных с помощью интерполяционной функции. Эти методы пытаются улучшить окончательный внешний вид пересчитанных изображений и свести к минимуму визуальные дефекты, возникающие из-за неизбежной ошибки пересчета.

В данной статье предлагаются три алгоритма АПП для сжатия и восстановления изображений морских судов по опорным точкам на основе **полигонально-рекурсивного разбиения** изображения на полигоны различной формы и размера:

- а) алгоритм разбиения на полигоны: квадраты либо прямоугольники;
- б) алгоритм деления на треугольники;
- в) итерационный алгоритм триангуляции Делоне (ТД).

Суть этих трёх алгоритмов АПП заключается в следующем. Исходное изображение подвергается разбиению на полигоны различной формы и размера в зависимости от степени различия яркостей пикселей. Процесс разбиения продолжается до тех пор, пока размер полигона не будет равным одному пикселю.

2.3. Алгоритм разбиения на полигоны.

На этапе сжатия изображений алгоритм включает следующие основные шаги (рис. 3):

- 1) разбиение изображения на полигоны (квадраты или прямоугольники) в зависимости от порога отклонения по яркости и формирование неравномерной сетки полигонов;

- 2) нахождение опорных точек (ОТ) в пределах каждого полигона путём выделения границ объектов;
- 3) формирование динамических массивов ОТ;
- 4) передача по каналу связи.

Алгоритмы нахождения ОТ в пределах полигона можно найти в работах авторов [3].

На этапе восстановления изображений алгоритм включает следующие основные шаги:

- 1) приём сжатых динамических массивов ОТ;
- 2) выполнение триангуляции Делоне;
- 3) аппроксимация яркостей пикселей в пределах каждого треугольника;
- 4) получение результирующего изображения в соответствии с заданной минимальной ошибкой, обеспечивающей восстановление без потерь.

2.4. Алгоритм разбиения на треугольники.

На этапе сжатия изображений алгоритм включает следующие основные шаги (рис. 3):

- 1) разбиение изображения на треугольники в зависимости от порога отклонения по яркости;
- 2) нахождение ОТ в пределах каждого треугольника. В данном случае ОТ могут быть:
 - а) либо вершинами уже полученных на этапе разбиения прямых треугольников;
 - б) либо выполняется дополнительных поиск ОТ в пределах каждого треугольника для достижения более высокого коэффициента сжатия;
- 3) формирование динамических массивов ОТ;
- 4) передача по каналу связи.

На этапе восстановления изображений алгоритм включает следующие основные шаги:

- 1) приём сжатых динамических массивов ОТ;
- 2) аппроксимация яркостей пикселей в пределах каждого треугольника либо выполнение триангуляции Делоне для случая пункта 2б этапа сжатия;
- 3) аппроксимация яркостей пикселей в пределах каждого треугольника, обеспечивающая восстановление без потерь.

2.5. Итерационный алгоритм ТД

Данный алгоритм является наиболее сложным с точки зрения вычислительных затрат, но с точки зрения коэффициента сжатия является наиболее выигрышным.

В начале угловые точки исходного изображения принимаются в качестве ОТ для построения первых двух начальных треугольников. Далее, построение ТД в целом происходит по принципу добавления по одной точке в уже имеющуюся триангуляцию до тех пор, пока не будут добавлены все точки (рис. 3).

Первоначально, как было отмечено, триангуляция содержит 4 точки (угловые точки исходного изображения), образующие ограничивающий прямоугольник, внутри которого и будут расположены все остальные точки. Прямоугольник, представляющий исходное изображение разбит по диагонали на два треугольника.

Алгоритм работает путем постоянного добавления по ОТ текущей триангуляции до тех пор, пока не будет достигнуто требуемая точность восстановления результирующего изображения.

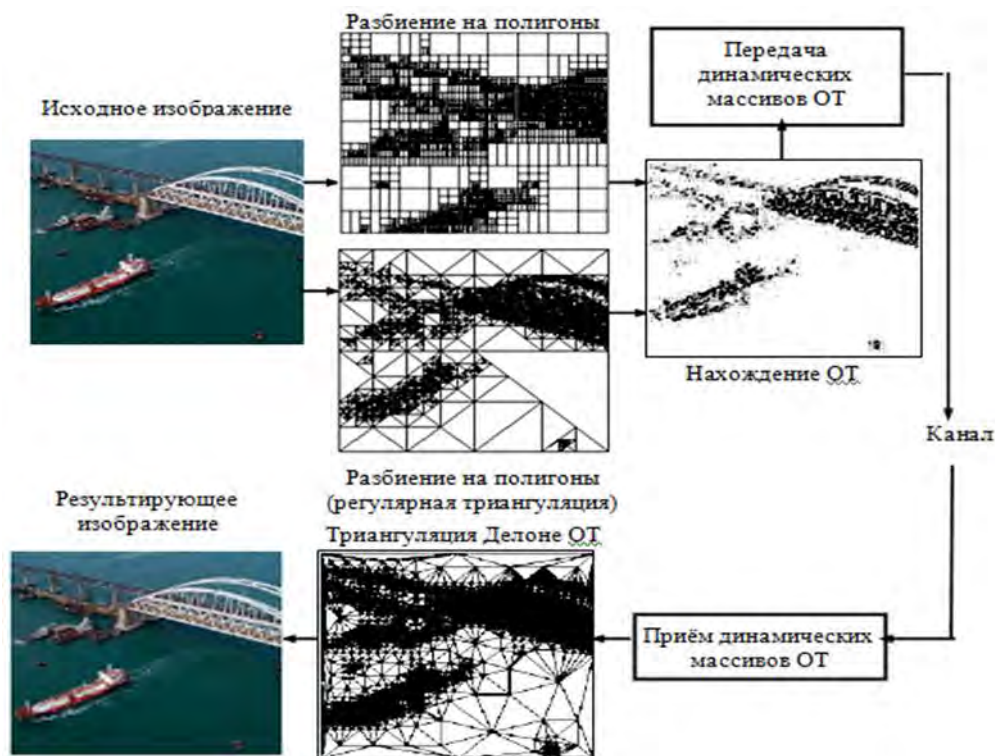


Рис. 3. Процесс адаптивного пространственного преобразования изображений

Важно отметить, что поиск ОТ выполняется эмпирически итерационным способом с помощью градиента. При этом триангуляция набора точек будет ТД, если описанная окружность для каждого треугольника будет свободна от точек, то есть внутри неё не будет больше ни одной точки из набора. Если внутрь любой области, ограниченной окружностью, попала одна точка другого треугольника, то эта триангуляция не относится к типу Делоне, и необходимо флипповать (рис. 4). Флипп – это замена одной диагонали на другую (рис. 4) [9, 10].

Важной особенностью этих алгоритмов АПП заключается в следующем:

- 1) сохранение семантических свойств изображений в виде множество опорных точек;
- 2) возможность постепенного восстановления во время передачи сжатых файлов, что позволяет сохранить целостность при возникновении сбоев или обрыва передачи по каналам связи;

3) выбор того или иного алгоритма из предложенных в зависимости от цели прикладной задачи.

3. Сравнительный анализ алгоритмов сжатия без потерь

Исследование алгоритмов сжатия без потерь проводилось в ИПТ РАН над изображениями морских судов различных форматов и разрешений с использованием VC++. Для оценки эффективности алгоритмов были вычислены следующие показатели:

- 1) степень сжатия — это отношение объёма исходного изображения в байтах к объёму сжатого изображения.
- сравнение алгоритмов
- 2) сложность алгоритмов. Данный показатель оценивается путём вычисления общего количества операций (сложение, вычитание, умножение и деления), затрачиваемых на выполнение кодирования и декодирования изображения.

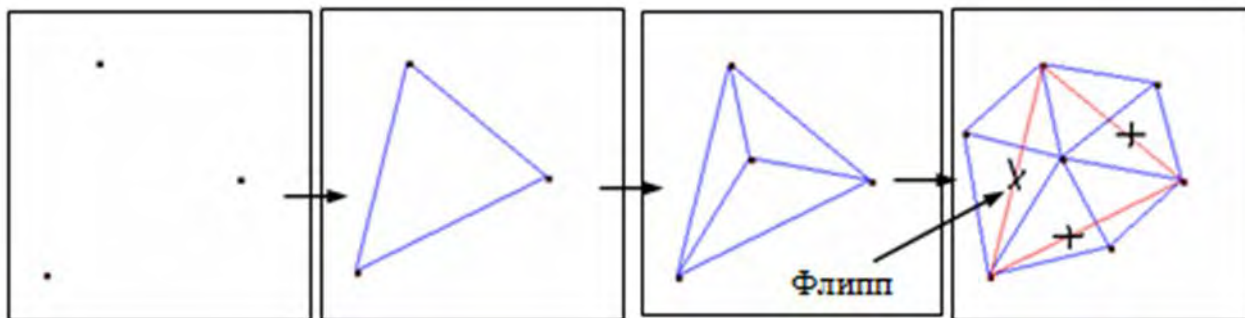


Рис. 4. Триангуляция Делоне

Таблица

Результаты сравнения алгоритмов сжатия без потерь

Метод сжатия	Изображение № 1	Изображение № 2	Изображение № 3	Область применения
Сложность (операции/пиксель)	Степень сжатия*			
КДС	1,03	1,02	1,03	Используется в основном для часто встречающихся последовательностей пикселей
	7,3	6,4	6,2	
КХ	1,56	1,11	1,109	JPEG
	7,2	7,5	7,5	
АК	1,79	1,6	1,59	JPEG, TIFF и GIF файлы
	11,2	10,2	9,3	
АКП	1,7	1,6	1,34	Транспортные видеосистемы
	13,1	11,8	11,2	
Итерационный алгоритм ТД	2,18	1,8	1,9	
	24,1	18,6	25,3	
АПП	1,8	1,71	1,62	Системы интеллектуального наблюдения
	14,2	12,9	13,7	

*- результаты моделирования алгоритмов над изображениями морских судов формата следующих форматов:

QCIF – аббревиатура определения «Quarter Common Intermediate Format» (Четверть общего промежуточного формата) равна стандарту картинка видеофайла 176x144 пикселя в PAL и 176x120 пикселей в SECAM. Это разрешение является уменьшенным в четыре раза стандартом CIF или по-другому этот стандарт называется четверть от CIF.

CIF – расшифровывается аббревиатура «Common Intermediate Format» (Общий промежуточный формат) встречается так же как FCIF - «Full Common Intermediate Format» (Полный общий промежуточный формат) определён стандартом изображений файлов видео, который равен PAL/SECAM 352x288 пикселей/ 352x240 пикселей.

Результаты предложенных алгоритмов сжатия без потерь сравнивались со следующими известными алгоритмами кодирования (таблица):

- длин серии (КДС);
- Хаффмана (КХ);
- арифметическое (АК).

Изображения были выбраны из компактной представительной выборки морских сюжетов (КПВМС), разработанной в результате классификации морских сюжетов по мере неопределенности (M) и мере широкомасштабности (W), что позволило разделить изображения на 9 классов., из которых были выбраны три изображения [11]:

- 1) изображение № 1 – изображения с малой широкополосностью и большой неопределенностью,
- 2) изображения № 2 – изображения с средней широкополосностью и средней неопределенностью,
- 3) изображения № 3 – изображения с большой широкополосностью и большой мерой неопределенностью.

Согласно проведенному сравнительному анализу между алгоритмами сжатия изображений морских судов можно сделать следующие выводы:

1. КДС генерирует выходные данные, которые в 2 раза больше, чем размер входных данных. Это связано с меньшим количеством значений яркостей в исходном файле. А сжатые файлы имеют очень высокие значения степени сжатия. Этот алгоритм не обеспечивает существенного улучшения по сравнению с исходным файлом.

2. КХ по сравнению с АК использует статическую таблицу для всего процесса кодирования, поэтому он быстрее. Однако он не производит эффективную степень сжатия. Напротив, АК может генерировать высокую степень сжатия, но его скорость сжатия медленнее.

3) ПРМ является наиболее эффективным способом кодирования без потерь по сравнению с всеми алгоритмами по двум причинам:

- улучшенный показатель степени сжатия при сохранении качества изображений;
- наличие функции управления точностью восстановления сжатых изображений путём задания соответствующего порога яркости (коэффициента корреляции).

Однако, преимущество предлагаемого метода сжатия без потерь достигается ценой двукратного увеличения сложности кодера.

4) Алгоритм на основе адаптивного спектрального преобразования является наиболее оптимальным с точки зрения вычислительных затрат, в то время как итерационный триангуляционный алгоритм позволяет достичь максимального сжатия при минимальной ошибке восстановления результирующих изображений.

Заключение

Сжатие изображений является важной областью исследований в связи с широким спектром их применения. В этой статье было исследовано и протестировано различные методы сжатия без потерь над изображениями морских сюжетов. Показана эффективность алгоритмов сжатия: кодирование длин серий, Хаффмана и арифметическое кодирование.

Предложены новые алгоритмы на основе двух принципиально отличающихся друг от друга двух методов сжатия изображений морских судов: адаптивного спектрального преобразования с использованием адаптивного способа квантования трансформант и адаптивного пространственного преобразования на основе разбиения на полигоны различной формы и размера и нахождения опорных точек в пределах полученных полигонов.

Проведены сравнение предлагаемых методов с известными методами сжатия без потерь путём оценки степени сжатия и сложности алгоритмов при сохранении качества восстановленных изображений.

Показано, что предлагаемые методы обеспечивают большую степень сжатия ценой двукратного увеличения вычислительной сложности, выраженной числом операций на пиксель.

Литература

1. Andler S., Fredin M., Gustavsson P., Laere J., Nilsson M., Svenson P. 2009. SMAR TraIn—A concept for spoof resistant tracking of vessels and detection of adverse intentions.
2. Малыгин И.Г., Комашинский В.И., Королев О.А. Информационно-управляющие системы водного транспорта в период четвертой индустриальной революции // Транспорт: наука, техника, управление. 2017. № 8. С. 3-12.
3. Фахми Ш.С., Костикова Е.В., Крюкова М.С., Селиверстов С.А. Видеосистема обнаружения морских судов по триангуляционным решёткам // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 3-1 (41). С. 143-155.
4. Фахми Ш.С., Шаталова Н.В., Костикова Е.В. Транспортные видеосистемы на кристалле: методы и технологии проектирования: монография. — СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2020. — 346 с.
5. Arai Y., Agui T., Nakajima, M.: "A fast DCT-SQ scheme for images", Trans. IEICE, 1988, E71, (11), pp. 1095–1097.
6. Wahid K., Dimitrov V., Jullien G. "Error-free computation of 8×8 2D DCT and IDCT using two-dimensional algebraic integer quantization" // In Proceedings of the 17th IEEE Symposium on Computer Arithmetic. IEEE Computer Society, Jun. 2005, pp. 214–221
7. Фахми Ш.С., Шаталова Н.В., Костикова Е.В. Методы, алгоритмы и устройства кодирования и декодирования изображений: монография. — СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. — 260 с
8. Хасан Я.А., Фахми Ш.С. Адаптивное трехмерное косинусное преобразование транспортных сюжетов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 3. С. 482-491.
9. Фахми Ш.С., Костикова Е.В., Крюкова М.С., Селиверстов С.А. Видеосистема обнаружения морских судов по триангуляционным решёткам // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 3-1 (41). С. 143-155.
10. Фахми Ш.С., Селиверстов С.А., Вислогузов В.В., Крымский В.В. Метод пороговой сегментации изображений морских судов // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4-2 (46). С. 69-78.

References

1. Andler S., Fredin M., Gustavsson P., Laere J., Nilsson M., Svenson P. 2009. SMAR TraIn—A concept for spoof resistant tracking of vessels and detection of adverse intentions.
2. Malygin I. G., Komashinsky V. I., Korolev O. A. Information and control systems of water transport in the period of the fourth industrial revolution. Transport: science, technology, management. 2017. No. 8. pp. 3-12.
3. Fahmi Sh. S., Kostikova E. V., Kryukova M. S., Seliverstov S. A. Video system for detecting marine vessels by triangulation lattices // Marine intelligent technologies. 2018. No. 3-1 (41). pp. 143-155.
4. Fahmi Sh. S., Shatalova N. V., Kostikova E. V. Transport video systems on a crystal: design methods and technologies. monograph. St. Petersburg: Publishing and Printing Association of Higher Educational Institutions, 2020. - 346 p.
5. Arai Y., Agui T., Nakajima, M.: "A fast DCT-SQ scheme for images", Trans. IEICE, 1988, E71, (11), pp. 1095–1097.
6. Wahid K., Dimitrov V., Jullien G. "Error-free computation of 8×8 2D DCT and IDCT using two-dimensional algebraic integer quantization" // In Proceedings of the 17th IEEE Symposium on Computer Arithmetic. IEEE Computer Society, Jun. 2005, pp. 214–221.
7. Fahmi Sh. S., Shatalova N. V., Kostikova E. V. Methods, algorithms and devices for encoding and decoding images. monograph. St. Petersburg: Publishing and Printing Association of Higher Educational Institutions, 2019. - 260 p.
8. Hasan Ya. A., Fahmi Sh. S. Adaptive three-dimensional cosine transformation of transport plots. Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2019. Vol. 19. № 3. pp. 482-491.
9. Fahmi Sh. S., Kostikova E. V., Kryukova M. S., Seliverstov S. A. Video system for detecting marine vessels by triangulation lattices// Marine intelligent technologies. 2018. № 3-1 (41). pp. 143-155.
10. Fahmi Sh. S., Seliverstov S. A., Visloguzov V. V., Krymsky V. V. Method of threshold segmentation of images of sea vessels. Marine intelligent technologies. 2019. No. 4-2 (46). pp. 69-78.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шакиб Субхиевич Фахми, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 197376 г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5, корпус 1, помещение 11-53. Тел. +7(812) 234-36-75. e-mail: shakeebf@mail.ru
Ведущий научный сотрудник Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, д.13. Тел. +7(812) 321-95-68

Елена Валентиновна Костикова, кандидат технических наук, доцент кафедры математического моделирования и прикладной информатики, Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7., Тел.: +7(812)748-96-45, м.т. 768, e-mail: kostikova.ev@mail.ru

Олег Александрович Королев, научный сотрудник, Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 199178, Санкт-Петербург, В.О. 12 линия, 13. Тел. +7(812) 323-29-54, e-mail: korolev@iptran.ru

Shakeeb S. Fahmi, senior lecturer, Dr.Sci. (Eng), Professor of the Department of computer-aided design, Saint Petersburg Electrotechnical University 'LETI', room 11-53, building 1, 5, Professor Popov str., St. Petersburg, 197376, Russian Federation. Tel. +7(812) 234-36-75. Leading researcher Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, 13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199178, Russian Federation. Tel. +7(812) 321-95-68, e-mail: shakeebf@mail.ru

Elena V. Kostikova, PhD (Eng), senior lecturer of the Department of mathematical modeling and applied Informatics, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 5/7, Dvinskaya str, St. Petersburg, 198035, Russian Federation., Tel. +7(812) 748-96-45, i.p. 768, e-mail: kostikova.ev@mail.ru

Oleg A. Korolev, researcher, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, 13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199178, Russian Federation. Tel. +7(812)323-29-54, e-mail: korolev@iptran.ru

Поступила в редакцию: 15.10.2020

Принята к публикации: 15.02.2021

УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 159.9:656.61; 656:638.34

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.008

Систематизация экологических факторов среды обитания судового экипажа

В.Ю. Каминский¹ e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru, **Д.А. Скороходов**¹ e-mail: skorohodda@mail.ru,
М.Л. Маринов¹ e-mail: marinlomsky@gmail.com

¹Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской академии наук

Аннотация. Среда обитания судового экипажа определяет его работоспособность и оказывает влияние на эффективность принимаемых решений в нормальных и аварийных ситуациях. Рассмотрены основные факторы, формирующие среду обитания: состав воздуха служебных помещений, освещенность и световое оформление, шум, вибрация, производственные излучения и электромагнитные поля. Проанализированы возможности адаптации организма к специфическим условиям среды обитания. Приведён перечень необходимого оборудования, которое используется для защиты персонала, в том числе стационарные газоанализаторы, обеспечивающие замеры низких концентраций токсичных газов и концентраций кислорода, а также выполняющие периодический контроль состава воздуха в служебных помещениях. Показано влияние условий труда на заболеваемость. Предложена методика экспертной оценки условий труда и обитания экипажа, учитывающая влияние комплекса факторов, совокупность которых может существенно меняться не только в зависимости от назначения и типа судна, но и вследствие особенностей плавания. Анализ природных и производственно-бытовых факторов, влияющих на заболеваемость членов экипажа различных профессиональных групп, позволил выявить частоту возникновения болезней и их продолжительность. Установлено, что чаще болеют представители операторских профессий (штурманы и механики), что объясняется условиями и характером их труда. Заболеваемость имеет выраженную профессиональную обусловленность (уровни воздействия) и стажевую детерминацию (длительность воздействия).

Ключевые слова: среда обитания, условия труда, контроль, организм, адаптация, факторы, методика, анализ, персонал, работоспособность, профпригодность.

Systematization of environmental factors of the environment ship's crew

Valery Yu. Kaminsky¹ e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru, **Dmitriy A. Skorokhodov**¹ e-mail: skorohodda@mail.ru,
Marin L. Marinov¹ e-mail: marinlomsky@gmail.com

¹Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science, Russian Federation

Abstract. The habitat of the ship's crew determines its performance and influences the effectiveness of decisions made in normal and emergency situations. The main factors that form the living environment are considered: the composition of the air of office premises, illumination and light-color design, noise, vibration, industrial radiation and electromagnetic fields. The possibilities of adaptation of the organism to specific environmental conditions are analyzed. The list of necessary equipment that is used to protect personnel is given, including stationary gas analyzers that provide measurements of low concentrations of toxic gases and oxygen concentrations, as well as perform periodic monitoring of the air composition in office premises. The influence of working conditions on morbidity is shown. A method of expert assessment of the working conditions and living conditions of the crew is proposed, taking into account the influence of a complex of factors, the totality of which can significantly change not only depending on the purpose and type of vessel, but also due to the dynamically changing features of navigation. The analysis of natural and industrial and household factors affecting the morbidity of crew members of various professional groups allowed us to identify the frequency of diseases and their duration. It is established that representatives of operator professions (navigators and mechanics) are more often ill, which is explained by the conditions and nature of their work. The incidence has a pronounced occupational conditionality (exposure levels) and an occupational determination (duration of exposure).

Keywords: environment, working conditions, control, organism, adaptation, factors, methodology, analysis, personnel, working capacity, professional aptitude.

Введение

Среда обитания плавсостава судна характеризуется воздействием целого комплекса экологических факторов, состав которых может варьироваться не только в зависимости от назначения и типа судна, но и от динамично меняющихся условий плавания. Характер деятельности судовых специалистов колеблется в широком диапазоне от оптимального и благоприятного до неблагоприятного и, даже, в особых условиях рейса, очень неблагоприятного или экстремального [1]. Неблагоприятные условия среды стратифицируют не только по интенсивности, но и по биологической и социальной значимости, новизне

или специфике воздействия на организм специалиста. При этом комбинация различных факторов, их возбуждающее или тормозящее взаимовлияние может достигать экстремального характера вследствие непрерывного и длительного или повторяющегося воздействия на организм. Последствия стрессовой реакции могут привести к перенапряжению адаптационно-компенсаторных механизмов и явиться причиной развития астении «новичков» плавсостава. В этой связи большое значение должно придаваться отбору комсостава и судового персонала с повышенной нервной психической, эмоциональной и вестибулярной устойчивостью [2]. Уровень профессиональной пригодности судовых специалистов

непосредственно влияет на продолжительность их работы и является залогом обеспечения личной и коллективной безопасности на флоте.

1. Факторы, оказывающие влияние на среду обитания судового экипажа

1.1 Воздух рабочей зоны

Для воздуха рабочей зоны (Φ_1) важной характеристикой является газовый состав (Φ_{11}), предельно допустимая концентрация вредных газов (Φ_{12}), паров (Φ_{13}) и пыли (Φ_{14}). В обычном воздухе содержится около 20% кислорода, 78% азота, 0,03% углекислого газа. Уменьшение дозы кислорода до 14% вызывает кислородное голодание организма, а при 6–9 % возникает опасность для жизни. Увеличение содержания углекислого газа в воздухе до 3% вызывает раздражение дыхательных путей человека, появление головной боли, головокружения, вялости. Поэтому содержание этого газа не должно превышать в рабочих помещениях 0,1% – в обычных условиях и 0,5% – в условиях кратковременной работы [3-4].

Следует обратить внимание на взаимосвязь температуры, влажности и скорости движения воздуха. Для каждой профессии и категории работы существуют оптимальные значения указанных параметров, которые меняются в зависимости от места, времени суток и времени года. Определение оптимального микроклимата рабочего помещения возможно только на основе объективных оценок.

Температура (Φ_{15}), выходящая за пределы оптимальных значений, оказывая отрицательное влияние на самочувствие человека, чаще всего плохо сказывается и на его работоспособности. Субъективное ощущение тепла или холода зависит не только от климатических условий, но и от таких факторов, как конституция тела, возраст, пол, тренированность организма, вид выполняемой работы, одежда и т.д. Поэтому на практике можно говорить только о диапазоне оптимальной температуры.

Для улучшения микроклимата в помещениях должна быть обеспечена оптимальная скорость движения воздуха (Φ_{16}), рекомендуется ~ 0,1м/с. В зависимости от категории работ, времени года, относительной влажности воздуха и температуры оптимальная скорость движения воздуха составляет 0,2-0,5м/с. С увеличением температуры и влажности воздуха рекомендуемая скорость его движения возрастает, достигая 1-2м/с. Скорость воздушного потока более 6м/с ощущается как неприятный сквозняк, а больше 11м/с – нивелирует изоляционные свойства одежды.

Среди примесей, загрязняющих воздух, основной является пыль. Даже кратковременное пребывание в сильно запыленной среде утомляет человека, снижает точность его движений, а длительное – приводит к серьезным легочным заболеваниям.

Повышение качества воздушной среды в рабочей зоне обеспечивается вытяжной вентиляцией, кондиционированием воздушной среды, устройством воздушных душей и завес, регулированием влажности воздуха.

Снижение степени загрязненности воздуха может достигаться применением агрегатов, улавливающих и удаляющих вредные вещества, обеспечением герметизации оборудования и аппаратуры, механизацией и автоматизацией производственных процессов и т.п.

1.2 Освещенность и световое оформление

Около 90% всей информации человек получает через зрительный анализатор. Поэтому освещение и световое оформление (Φ_2) рабочего места имеют большое значение для эффективной трудовой деятельности человека, его эмоционального состояния и мотивации. Создание оптимальных условий освещения повышает производительность труда на 5–30%, снижает брак и сокращает количество несчастных случаев на рабочем месте. Большое значение для работы имеют острота зрения и длительность ясного видения, которые в значительной мере, зависят от условий освещения [5-7].

Решение задачи оптимального освещения рабочего места включает выбор системы освещения (Φ_{21}), источника света (Φ_{22}), светильников (Φ_{23}), определение их количества (Φ_{24}), места размещения (Φ_{25}), мер защиты от слепящего действия света и бликов (Φ_{26}).

Освещение может быть естественным, искусственным и смешанным. Наиболее благоприятно для человека естественное освещение. При его использовании производительность труда на 10% выше, чем при искусственном освещении.

В зависимости от особенностей трудового процесса применяются три системы искусственного освещения:

- общее освещение (Φ_{211}), при котором светильники располагаются в верхней зоне помещения равномерно или ориентируясь на размещение оборудования;

- местное освещение (Φ_{212}), создаваемое светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочих местах;

- комбинированное освещение (Φ_{213}), при котором к общему освещению добавляется местное.

Промышленностью выпускаются светильники различных типов, обеспечивающие прямое, отраженное падение света или их различные комбинации. Применение различных видов распределения света приведено в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики и виды распределения света

Вид распределения света	Эффект освещения	Область применения
прямое	резкая тень, большая контрастность	освещение стендов, используется для освещения рабочего места только при хорошем общем освещении
полупрямое или полуотраженное	слабая тень, нередкий переход от тени к свету	общее освещение при работе средней точности; применяется для освещения рабочих помещений
свободно падающие равномерные лучи	тень слабая или средняя, часто наблюдается ослепляющее действие	применяется на складах, в коридорах, подсобных помещениях
отраженное	тень отсутствует, рассеянный свет	рекомендуется в диспетчерских

Для конкретных рабочих мест большое значение имеет распределение яркости света. Ослепление отрицательно сказывается на зрении, поэтому его нужно избегать. Для его предотвращения источник света должен располагаться под углом не менее чем 35-40° от горизонтальной линии зрения. Ослепления отраженным светом можно избежать, если правильно выбрать материал и цвет отделки рабочего помещения и оборудования. Рекомендуемый уровень освещенности зависит от разряда зрительных работ.

Большинство людей наряду со светом способны различать цвета. Если восприятие света зависит в основном от освещенности или светового климата окружающей среды, то восприятие цветовых раздражителей – от цветового оформления, которое оказывает большое влияние на работоспособность и самочувствие человека.

При выборе цветовой гаммы особое внимание следует обратить на использование цвета для сигнализации и возможности безошибочного восприятия сигналов на пульте управления. Число ошибок по восприятию сигналов на одноцветном (черном) пульте управления на 15-17% больше, чем на цветном. Конкретный выбор цвета при оформлении производственного помещения определяется, в первую очередь, спецификой труда. Конкретные цвета должны соответствовать функциям помещений. Хорошие результаты может

дать формирование цветового климата, основанное на анализе процессов труда.

Взаимосвязь цвета и освещения свидетельствует о необходимости комплексного формирования светового и цветового климата производственного помещения и рабочего места.

1.3 Шум

Значительное влияние на работоспособность человека оказывает шум (Φ_3). Он может вызвать функциональные изменения в организме и профессиональное поражение органов слуха. Вредное воздействие шума сказывается на реакции работающего человека, ведет к ослаблению внимания; шум воздействует на общее психическое состояние, вызывает ощущения плохого самочувствия, стесненности, тревоги и неуверенности.

Допустимые уровни звукового давления (Φ_{31}) и уровни звука (Φ_{32}) на рабочих местах определяются требованиями санитарных норм и правил, нормами стандартов безопасности труда. Нормы предусматривают дифференцированный подход: в зависимости от характера трудовой деятельности и учитывают суммарное воздействие шума в течение рабочего дня, а также характер шума. Изменение реакции человека под воздействием шума приведено в табл. 2.

Таблица 2

Психофизические реакции человека под воздействием шума

Уровень шума, дБ	Вид шума, звука	Реакция организма человека
0		слуховой порог
20	пение птиц	психические реакции
60	разговор	вегетативные реакции
100	изготовление котлов	нарушение слуха
120		болевого порог
160	взлет космической ракеты	шок, судороги, паралич
180		смерть

Непостоянный хаотичный шум более вреден, чем постоянный. Опасны внезапно возникающие интенсивные звуки. В случае высокого уровня звукового давления не допускается работа человека без защитных приспособлений. Звук имеет важную характеристику - частоту (Φ_{33}). Человеческое ухо воспринимает частоты от 16 до 20000Гц. Человек легче переносит низкочастотный звук, что учитывается при установлении пределов уровня шума. Шум тем неприятнее, чем уже полоса частот и выше уровень звукового давления. Самое вредное

воздействие оказывает шум, имеющий в своем составе высокие тона.

Звук частотой ниже 16Гц называется инфразвуком. Так как внутренние органы человека имеют собственную частоту колебаний в пределах 6-9Гц, то при воздействии инфразвука они могут прийти в состояние резонансного колебания и разрушиться. В малых дозах инфразвук приводит к недомоганию, состоянию тревоги, иногда ужаса, снижает внимание оператора, увеличивает время реакции и затрудняет мышление.

При частоте более 20000Гц начинается область ультразвука. Он вызывает у человека слабость, быструю утомляемость, расстройство сна, нарушение равновесия.

Отношение людей к шуму, вызванному одним и тем же акустическим источником, индивидуально. Частично это объясняется особенностями организма. Действие шума зависит и от состояния человека в данный момент. Человек по-разному реагирует на звуковой раздражитель в зависимости от условий и характера деятельности. Работники, подвергающиеся в течение многих лет действию шума на предприятии, вырабатывают по отношению к нему субъективную привычку, но реагируют на него так же, как и сталкивающиеся с ним впервые.

Вредное действие шума, приводящее к возникновению у операторов отклонений физиологического и психического характера, требует проведения эргономических мероприятий, обеспечивающих с одной стороны, защиту от шума, а с другой, – использование его стимулирующего влияния.

Практические меры борьбы с шумом можно подразделить на две группы: активные и пассивные. К пассивным средствам относятся всевозможные индивидуальные защитные приспособления: противозумные ковры, прокладки, перегородки, облицовка потолка и стен различными звукоизоляционными материалами. Активные методы борьбы с шумом предполагают реконструкцию самих источников шума, изменение технологических процессов и т.п.

В создании слухового комфорта особое место принадлежит музыке. Применение музыки на производстве должно быть научно обоснованным. Противопоказано применение музыки на работах, требующих высокой концентрации внимания, умственной сосредоточенности и ответственности, а также характеризующихся повышенным нервно-психическим напряжением, шумом и другими неблагоприятными условиями.

1.4 Вибрация

Когда на рабочем месте одновременно с шумом возникает вибрация (Φ_4), то негативное влияние на организм человека усиливается. По характеру воздействия вибрация может быть общей (Φ_{41}) и местной (Φ_{42}), действующей на ограниченный участок тела. Вред, причиненный вибрацией, зависит от амплитуды (Φ_{43}), частоты (Φ_{44}), энергии (Φ_{45}), скорости (Φ_{46}) и силы колебаний (Φ_{47}). Вибрация с большой частотой и малой амплитудой оказывает наиболее неблагоприятное воздействие на человека, вызывая головные боли, утомление, перенапряжение зрения. Она может привести к заболеванию суставов, мышц, нарушению двигательных функций, возникновению «вибрационной болезни». Для каждой части тела человека характерен свой особый критический (резонансный) уровень колебаний.

Для ограничения (исключения) вибрации на рабочих местах применяются: дистанционное управление, создание виброгасящих звеньев в цепи «человек – машина»; техническая рационализация инструмента и оборудования, устраняющая или уменьшающая вибрацию; индивидуальные средства защиты.

1.5 Производственные излучения и электромагнитные поля

Влияние излучений (Φ_5) на организм человека определяется их типом (Φ_{51}) и интенсивностью (Φ_{52}), а также временем (Φ_{53}), в течение которого оператор подвергается воздействию излучения. Негативный биологический эффект могут вызывать электромагнитные поля, создаваемые различными установками, являющимися источниками энергии высоких и ультравысоких частот.

Появляются сообщения о возникновении так называемой электронной аллергии, которая провоцируется повышенной чувствительностью человека к электромагнитным полям, генерируемым слабыми источниками, в том числе компьютерами и даже наручными электронными часами.

Немалое количество вредных факторов принесло в среду, окружающую человека, и современное развитие техники. В условиях плавания экипаж морских и речных транспортных средств может подвергаться воздействию мощных электромагнитных полей и проникающей радиации.

Для уменьшения вредного воздействия излучений помимо мероприятий по охране труда, используются различные меры, направленные на повышение адаптационных возможностей организма.

1.6 Качка судна и потеря равновесия

Качка (Φ_6) вызывает у персонала и пассажиров «морскую болезнь». Основной причиной укачивания является влияние, возникающих при качке, угловых и линейных ускорений. Порог чувствительности человека к угловым ускорениям находится в пределах 2-3 гр/с, а к вертикальным 0,4-0,12 м/с². Особенно интенсивно «морская болезнь» развивается, когда вертикальные ускорения (Φ_{61}) достигают примерно 0,1g \approx 1,0 м/с. Вертикальные ускорения в данной точке судна являются следствием не только линейных, но и угловых колебаний. Поэтому наибольшие вертикальные ускорения бывают в оконечностях судна. Если считать, что эти ускорения не должны превышать 0,1g, то допустимые амплитуды бортовой и килевой качки можно рассчитать по следующим формулам [8]:

$$\begin{aligned} \theta_{\max} \leq \theta_{md} &= 0,1g \left(\frac{T_{\theta}}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{2}{B} \cdot 57,3^{\circ} \\ \psi_{\max} \leq \psi_{md} &= 0,1g \left(\frac{T_{\psi}}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{2}{L} \cdot 57,3^{\circ} \end{aligned} \quad (1)$$

где T_{θ} и T_{ψ} - периоды бортовой и килевой качки, B и L - наибольшая ширина и длина судна.

Кроме «морской болезни», качка снижает способность экипажа выполнять различные задачи вследствие потери равновесия. Исследования потерь времени, вызванных потерей равновесия членами команды, проведенные в центре им. Д.Тейлора, позволили получить универсальный показатель, обозначенный как MII (Motion Induced Interruptions). MII представляет собой функцию, отражающую состояние равновесия членов команды. MII характеризует возникновение условий,

когда человек, для удержания равновесия, вынужден либо ухватиться за что-нибудь, либо изменить позу. В качестве приближенного показателя МП используют «оценочный показатель» поперечной силы LFE (Lateral Force Estimator) или боковые перегрузки. Предложено боковые перегрузки (F_{62}) делить по уровням риска. Первый уровень риска соответствует $LFE = 0,08g$. При таком уровне качки за 18 операций, осуществленных членом экипажа, будет наблюдаться однократная потеря равновесия на верхней палубе судна. Второй уровень риска соответствует случаю потери равновесия для каждого двух выполняемых операций. Этому уровню соответствует $LFE=0,1g$. Серьезный уровень риска – потеря равновесия 1,44 раза на одну операцию, $LFE=0,12g$. Высокий уровень риска – 2,61 раза потери равновесия на одну операцию $LFE=0,14g$. Чрезвычайно опасные условия – потеря равновесия четыре раза на одну операцию, $LFE \geq 0,16g$.

2. Адаптация организма к условиям среды

Адаптация к условиям среды является основой сохранения здоровья, работоспособности и долголетия. Рассмотрим основные направления адаптации [7].

Одним из возможных путей защиты от неблагоприятных условий окружающей среды, особенно если они угрожают жизни, является стремление отстраниться от них. Человек это делает сознательно, прибегая к различным защитным средствам: меняет одежду, включает отопление или вентиляцию, искусственное освещение, использует различные изолирующие от среды аппараты и т.п.

Если же не удастся ослабить неблагоприятные условия, организм человека экстренно приспосабливается к ним, задействовав резервы. Например, частота и сила сердечных сокращений могут возрасти в 3-4 раза, объем легочной вентиляции в 8 раз, потоотделение в 10-12 раз и т.п.

Результаты адаптации закрепляются в случае длительного пребывания в экстремальных условиях. Способность к адаптации можно развить в ходе систематических тренировок. Так можно развить силу, выносливость, скорость, способность противостоять барическим и термическим нагрузкам и т.п. опасным факторам.

С целью защиты от температурного фактора проводится закаливание организма. При этом расширяются границы эффективной терморегуляции. Хороший эффект дает сочетание охлаждения с мышечной деятельностью, чередование контрастных водных процедур.

Часто работа сопровождается интенсивной мышечной деятельностью. Адаптация к этому фактору достигается в ходе длительных тренировок. Это свидетельствует о необходимости привлечения членов экипажа к систематическим занятиям спортом. Условия труда ряда специалистов (особенно диспетчерского аппарата) связаны с ограниченной подвижностью. Снижение мышечной нагрузки приводит к ослаблению работы сердца, понижению тонуусу кровеносных сосудов, атрофированию мышц. Единственным средством противодействия ограниченной подвижности является активная мышечная деятельность.

Человеческий организм способен адаптироваться и к некоторым другим опасным

факторам: проникающей радиации, инфекциям, ядам. Адаптация организма к одному фактору может способствовать приспособлению и к другим факторам. Это, так называемая, перекрестная адаптация. Приспособление к недостатку кислорода повышает устойчивость к действию низких температур, инфекциям и проникающей радиации. Адаптация организма к интенсивной мышечной деятельности увеличивает способность противостоять охлаждению и перегреванию, инфекциям и проникающей радиации. В то же время непривычно тяжелая работа снижает иммунные резервы организма.

На неблагоприятные факторы разные люди (или один и тот же человек в различных условиях) могут реагировать по-разному. В условиях эмоционального подъема защитные силы организма повышаются. Отсюда, одной из функций руководителя является создание благоприятного морально-психологического климата в коллективе.

Выделяют понятие социальной адаптации – приспособление человека к условиям социальной среды. Содержанием социальной адаптации является сближение целей и ценностной ориентации группы (коллектива) и входящего в нее индивидуума, усвоение им норм, традиций, групповой культуры, включение в ролевую структуру группы.

3. Приборы для анализа состава и свойств газовых смесей

Стационарные газоанализаторы используются на некоторых нефтяных танкерах для контроля воспламеняемости атмосферы в помещениях. Разработано несколько конструкций устройства. Одно из них предусматривает установку большого числа датчиков в помещениях, подлежащих контролю. Сигналы от датчиков принимаются последовательно на центральном посту. Пробы отбираются последовательно, обычно с помощью вакуумного насоса, по трубопроводам в центральную систему замеров. При этом важно не допустить протечек воздуха в систему.

Наилучшим прибором для измерения низких концентраций токсичных газов является *химический индикатор*. Прибор представляет запаянную стеклянную трубку с наполнителем, рассчитанным на реакцию с конкретным газом. Важно, чтобы у всех элементов прибора был один изготовитель.

Точность измерений зависит от забираемого объема газа. Заборные трубки предназначены для измерения концентрации определённого газа. Если в воздухе рабочих помещений одновременно присутствуют несколько газовых сред, возможно появление ошибки.

Для оценки состояния атмосферы, например, в грузовом танке, обычно используются *кислородные газоанализаторы*. Стационарные газоанализаторы применяются для контроля содержания кислорода в дымоходах котлов и магистралах инертного газа. Наиболее широко распространены кислородные газоанализаторы с парамагнитными датчиками, электролитическими датчиками и датчиками на основе избирательного химического метода поглощения. Все газоанализаторы, независимо от типа, должны использоваться в строгом соответствии с инструкциями завода-изготовителя.

4. Периодичность контроля состава воздуха

В служебных судовых помещениях необходимо контролировать содержание [9, 10]:

- кислорода – не менее 6 раз в сутки;
- углекислого газа – 1 раз в 2 часа (при содержании углекислого газа более 0,8% - каждый час);
- окиси углерода – 3 раза в сутки (в случае повышения содержания окиси углерода более 50 мг/м³ – через каждые 30 мин);
- углеводородов - 1 раз в сутки;
- окислов азота - 1 раз в сутки;
- паров ртути - перед каждым выходом в море, а также после завершения ремонтно-

восстановительных работ с техническими средствами, содержащими металлическую ртуть.

Контроль осуществляется с учётом предельно-допустимых концентраций (ПДК) токсичных газов (табл.3) для оценки влияния характеристик воздуха на состояние членов экипажа (табл.4). ПДК называется такая концентрация токсичных газов (вредных веществ), которая при непрерывном воздействии в течение установленного времени не вызывает у персонала каких-либо заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, и не снижает устойчивости организма к воздействию экстремальных факторов.

Таблица 3

Предельно допустимые концентрации (мг/м³) токсичных газов (вредных веществ)

Токсичные газы	Время воздействия, ч			
	4	8	24	2000-3000
Окись углерода	30	20	18	5
Окислы азота	5	5	-	0,5
Сурьмянистый водород	0,5	0,3	0,15	-
Мышьяковистый водород	-	0,1	-	0,003
Бензол	-	5	-	2
Толуол	-	50	-	8
Ксилол	-	50	-	12
Предельные углеводороды	-	300	-	35
Фреон-12	6000	3000	-	150
Фреон-22	-	3000	-	100
Фреон-114В ₂	-	1000	-	100
Ртуть	-	0,01	-	0,003
Фосген	-	0,5	-	-

Таблица 4

Влияние характеристик воздуха на сохранение умственной и физической работоспособности человека

(В числителе приведена продолжительность сохранения умственной работоспособности, в знаменателе – длительность непрерывной физической работы)

Относительная влажность воздуха, %	Продолжительность (часы) сохранения рабочих кондиций человеком при температуре воздуха, °С				
	30	40	50	60	70
Менее 30	360/8	72/4	2/1,5	1/1	0,5/0,25
40-70	240/6	5/3	1,5-2/1-1,5	0,5/0,5	0,25/0,25
80-100	72/2	2/0,5	1-1,5/0,2	0,3/0,2	0,2/0,1

Снижение умственной и физической работоспособности членов экипажа зависит от температуры воздуха и наступает: в диапазоне от –1 до +3°С – через 3 ч; от +4 до +9°С – через 6-8 ч; от +10 до +13°С – через 10-12 ч.

4. Влияние условий труда на заболеваемость

Как известно, судно – это, одновременно, сложное инженерное сооружение и специфический производственно-коммунальный объект, характеризующийся единством зон труда и отдыха, круглосуточным воздействием на организм моряка динамического комплекса природных, производственных и бытовых факторов, параметры которых могут достигать экстремальных величин [10]. С технических позиций тип судна во многом определяет автономность и безопасность плавания, тяжесть и напряженность труда, качество обитаемости пассажиров и личного состава. В

судовой среде выделяют физико-химические, медико-биологические, информационно-эргономические и социально-психологические факторы, существенно влияющие на состояние здоровья и работоспособность членов экипажа. Большинство перечисленных факторов влияет на членов экипажа как непосредственно на рабочих местах и в рабочих зонах, так и оказывает влияние на сон, отдых, проведение свободного времени и т.п.

Несмотря на повсеместное повышение комфортности судовой среды, факторы микроклимата до сих пор остаются неблагоприятными. Это связано с мощным тепловыделением от работающих двигателей, котлов и трубопроводов машинного отделения (МО), резким изменением относительной влажности воздуха, зависящим от режима работы кондиционеров типа «лето-зима» и скорости движения воздуха. Кроме того, значительное воздействие оказывают внешние

гидрометеорологические условия (тропический и полярный районы плавания), тип судовых помещений, эффективность и рациональность размещения вентиляционной и кондиционирующей систем. Как правило, в жилых и общественных помещениях параметры систем находятся в пределах санитарных норм (0,2-0,5 м/с), однако в МО этот показатель колеблется от «застойных зон» до 2,3-5,7 м/с, в местах непосредственного воздействия воздухораздаточных устройств системы приточной вентиляции. Таким образом, характер метеорологических условий плавания в полярных и тропических зонах, быстрый переход из одних климатических условий в другие по-прежнему требует высокой резистентности.

Негативное влияние оказывают также вредные химические вещества, присутствующие в воздухе судовых помещений. Основными источниками поступления вредных газов, аэрозолей и паров в обитаемые помещения судна являются выхлопные газы, продукты неполного сгорания топлива и масел двигателей и котлов: окись углерода (5-18 мг/м³); окислы азота (1-4 мг/м³); углеводороды нефти (до 120-240 мг/м³); серный и сернистый ангидрид (1-9 мг/м³); ароматические и алифатические углеводороды (бензол, толуол, этилен). Как правило, их концентрации не превышают ПДК. Характерным является превышение нормы лакокрасочных композиций, особенно при осуществлении судовых окрасочных работ в закрытых и замкнутых пространствах (цистернах, танках и междудонных отсеках). Многие летучие вещества способны накапливаться и способствовать сенсибилизации и аллергии.

При перевозке навалочно-насыпных грузов (зерна, угля, руды, удобрений и др. минерального сырья) наблюдается значительная запыленность воздушной среды, особенно на открытых палубах балкеров, превышающая ПДК в 10-100 раз. Так при перегрузке зерна у членов команды наблюдался сухой кашель (28,7%), неприятные ощущения в носоглотке (11,5%), одышка (9,8%), что объективно подтверждалось снижением спирометрических показателей. При перевозке фумигированного зерна вредные компоненты пестицидов и их метаболиты могут поступать в дыхательные пути в течение всего рейса.

Негативное влияние на организм моряка оказывает шум с превалированием максимумов по низкочастотным составляющим в октавных полосах со среднегеометрической частотой 31,5-250 Гц за исключением машинного отделения, в котором уровень шума превышает допустимый, практически по всему спектру. На рабочих местах в МО эквивалентный уровень звука составляет 91-108 дБ, в центральном пульте управления - 79,9±2,8 дБ, на мостике - 64,3±2,1 дБ, на палубе - 64,3±3,1 дБ, в каютах машинной команды - 61,1±2,7 дБ и в каютах верхних палуб - 53,5±2,0 дБ. Следовательно,

санитарные нормы превышены на 6-28 дБ. Максимальное превышение ПДУ фиксируется во время ремонтных работ по механизированной зачистке металлических поверхностей от ржавчины, старой краски и обрастаний. Шум достигает 105-112 дБ, а в октавных полосах 500-8000 Гц.

Таким образом, в судовых помещениях в ходовом периоде регистрируются повышенные уровни постоянно действующих широкополосных и низкочастотных шумов. Как по интегральному, так и по спектральному составу шум превышает действующие санитарные нормы, особенно в каютах рядового и командного состава машинной команды. Хронический акустический стресс вызывает снижение работоспособности и профессиональной операторской надежности.

Негативные факторы производственной среды и частично среды обитания воздействуют на организм моряка круглосуточно, в течение всего рейса (доходящего до 9-10 мес.), что усиливает степень вредного воздействия даже таких факторов, которые не превышают предельно допустимых санитарных норм. Различная природа комплекса физико-химических раздражителей, их сочетание, непрерывное, длительное или одномоментное воздействие в целом усиливают общебиологический эффект.

Количественная оценка условий труда основных профессиональных групп судовых специалистов рассчитывается по формуле [2]:

$$U_T = 10 \left[X_{max} + \frac{(6 - X_{max})(n - 1)}{6} X_i \right], \quad (2)$$

где X_{max} - наивысшая из полученных частных балльных оценок, n - число учитываемых факторов, X_i - средняя балльная оценка.

Могут использоваться следующие формулы расчета [2]:

$$K_{УТ} = -1.5 + 0.76 X_{сангиг} + 0.58 X_{п/ф}, \quad (3)$$

где: $K_{УТ}$ - категория условий труда на типовом рабочем месте, $X_{сангиг}$ - среднеарифметическая величина всех санитарно-гигиенических элементов условий труда, $X_{п/ф}$ - среднеарифметическая величина всех психофизиологических (с учетом тяжести, напряженности, эргономичности и социально-психологического климата) элементов условий труда.

Если на типовом рабочем месте имеются элементы с оценками три и более балла, что свидетельствует о формировании экстремальной среды, то для интегральной оценки в расчет принимаются только эти биологически значимые факторы. При этом элементы с оценкой один и два балла в расчет не принимаются, т.к. они соответствуют обычной жизнедеятельности и не участвуют в формировании экстремальных условий. Результаты оценок приведены в табл.5.

Таблица 5

Категории условий труда судовых специалистов

(Оценка элементов условий труда в спокойных (в числителе) и напряженных (в знаменателе) условиях плавания)

Характеристики условий	Профессии специалистов					
	штурман	матрос	механик	моторист	электро-механик	электрик
Вредность	$1,7 \pm 0,20$	$2,0 \pm 0,16$	$2,1 \pm 0,16$	$2,3 \pm 0,20$	$1,7 \pm 0,20$	$1,7 \pm 0,20$
	$2,3 \pm 0,18$	$2,9 \pm 0,20$	$2,8 \pm 0,19$	$3,0 \pm 0,20$	$2,1 \pm 0,16$	$2,1 \pm 0,16$
Тяжесть	$1,4 \pm 0,29$	$2,5 \pm 0,16$	$2,1 \pm 0,22$	$2,6 \pm 0,15$	$1,8 \pm 0,24$	$2,1 \pm 0,22$
	$1,4 \pm 0,29$	$3,1 \pm 0,20$	$2,2 \pm 0,20$	$2,9 \pm 0,17$	$1,9 \pm 0,22$	$2,2 \pm 0,22$
Напряженность	$2,8 \pm 0,31$	$1,7 \pm 0,16$	$2,9 \pm 0,27$	$2,5 \pm 0,24$	$2,6 \pm 0,25$	$2,1 \pm 0,23$
	$3,7 \pm 0,29$	$2,5 \pm 0,17$	$3,7 \pm 0,26$	$3,1 \pm 0,20$	$3,1 \pm 0,18$	$2,7 \pm 0,16$
Эргономичность	$2,4 \pm 0,17$	$2,1 \pm 0,10$	$3,1 \pm 0,10$	$2,7 \pm 0,22$	$2,8 \pm 0,21$	$2,6 \pm 0,17$
U_T	$\frac{22}{56}$	$\frac{11}{30}$	$\frac{28}{58}$	$\frac{28}{32}$	$\frac{23}{31}$	$\frac{19}{27}$
	$\frac{2}{4}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{3}$
Σ	$\frac{18}{25}$	$\frac{11}{27}$	$\frac{23}{29}$	$\frac{26}{28}$	$\frac{19}{24}$	$\frac{16}{22}$

Как видно из табл.5 члены машинной команды (МК) работают в более вредных условиях (3-4-й категории), что отражается и в наибольшем количестве неблагоприятных элементов (по 3-5 баллов). Тяжесть труда рядового состава невысока (2-3 балла), однако, во время аварийных работ пиковая физическая нагрузка может достигать 4 баллов. Труд комсостава оценивается в 1-2 балла, кроме механиков, электро- и рефмехаников при выполнении ремонтно-профилактических работ (2-3 балла) совместно с рядовым составом МК.

Основная производственная нагрузка приходится на психоэмоциональную и нервно-психическую сферу, а их труд характеризуется как напряженный (3-4 балла) в спокойных условиях и очень напряженный (5 баллов) – в сложных условиях плавания. Аналогичные различия отмечаются и между судовыми специалистами, несущими вахту, и занятыми другими судовыми работами.

Таким образом, эффективность и надежность труда моряков в обычных условиях труда в полной мере детерминированы уровнем их физического состояния и работоспособности, т.е. их психофизиологическими качествами. Экстремальные условия плавания требуют большего участия высших психических функций, психоэмоциональной устойчивости и напряжения соответствующих характерных черт, т.е. в большей мере зависят от личностных особенностей.

Анализ заболеваемости моряков в результате вредных условий труда выявил разные уровни частоты возникновения болезней и их длительность у представителей различных профессиональных групп. Чаще болели представители операторских профессий (штурманы - 20% и механики - 34%), чем

рядовой состав (матросы - 12% и мотористы - 13%). Эти различия носят закономерный характер и связаны с особенностями условий и характера труда (табл.5). В результате совместного воздействия природных и производственно-бытовых факторов заболеваемость, приобретает выраженную профессиональную (уровни воздействия) и стажевую (длительность воздействия) обусловленность.

В возрастной группе 20-25лет отмечается достаточно высокий уровень заболеваемости с результатами, приближающимися к средним величинам. Это объясняется реакцией организма молодых людей на комплекс факторов, связанных с условиями обитания, социально-психологическим климатом в экипаже, высокой профессиональной ответственностью. В связи с этим, проявляются признаки и симптомы вегетативных отклонений, заболеваний нервной системы, органов дыхания, сердечно-сосудистой системы.

Период 26-29 лет характеризуется функциональной устойчивостью организма, высоким уровнем работоспособности, снижением заболеваемости. С увеличения возраста и стажа (30-39 лет) растет и частота заболеваний у представителей всех профгрупп, особенно у групп операторов. К 40-49 годам заболеваемость достигает наивысшего уровня. Снижение заболеваемости при достижении 50 лет и больше связано с естественным отсевом, результатами медицинских освидетельствований, а также выходом на пенсию.

5. Экспертная оценка условий труда на основе функции Харрингтона

Оценка условий труда, применяемая в настоящее время и предполагающая высокий уровень

квалификации экспертов, очевидно затруднительна в практическом приложении.

Предлагается структурировать факторы, влияющие на обитаемость персонала судна [11]. Сгруппируем все факторы следующим образом: **воздух рабочей зоны (Ф₁):** газовый состав (Подфактор) (ПФ₁₁), предельно допустимая концентрация вредных газов (ПФ₁₂), паров (ПФ₁₃) и пыли (ПФ₁₄), температура (ПФ₁₅) и скорость движения воздуха (ПФ₁₆); **освещение и световое оформление (Ф₂):** выбор системы освещения (ПФ₂₁) - общее освещение (ПФ₂₁₁), местное (ПФ₂₁₂), комбинированное (ПФ₂₁₃); **шум (Ф₃):** уровень звукового давления (ПФ₃₁), уровень звука (ПФ₃₂) и частота звука (ПФ₃₃); **вибрация (Ф₄):** общая (ПФ₄₁), местная (ПФ₄₂), амплитуда (ПФ₄₃), частота (ПФ₄₄), энергия (ПФ₄₅), скорость колебаний (ПФ₄₆) и сила колебаний (ПФ₄₇); **производственные излучения и электромагнитные поля (Ф₅):** тип (ПФ₅₁), интенсивность (ПФ₅₂) и время излучения (ПФ₅₃); **качка судна (Ф₆):** вертикальное ускорение (ПФ₆₁) и боковые перегрузки (ПФ₆₂). Коэффициенты важности факторов Ф₁ – Ф₆ и подфакторов ПФ₁₁ – ПФ_{6i} будем считать равноценными, поэтому оценку обитаемости рабочего места персонала можно выполнить следующим образом.

Учитывая разнородность факторов и, соответственно, критериев их оценки как количественного, так и качественного характера, необходимо выбрать показатель, который бы аккумулировал все виды факторов и подфакторов. Наиболее полно отвечает этим требованиям критерий максимума аддитивной технической полезности, построение которого осуществляется на основе выбранных функций технической полезности, обеспечивающих количественное измерение рассматриваемых факторов Ф_i и подфакторов ПФ_i. Данная функция технической полезности P(Ф) будет являться вещественной функцией, сохраняющей упорядочение при любых Ф тогда и только тогда, когда Ф¹ > Ф² ⇔ P(Ф¹) > P(Ф²). Поскольку мы заинтересованы в увеличении технической полезности, подобную оценку можно рассматривать как n – мерный критерий оптимизации. Считая, что критерии ориентированы положительно и любая пара критериев не зависит по предпочтению от других критериев, определим функцию технической полезности по всем факторам в виде

$$P_{цс}(Ф) = \sum_{i=1}^6 \lambda_i \cdot P_i(Ф) \quad (4)$$

Нормированный аддитивный критерий существует в том случае, если функции P_i(Ф) подобраны так, что P ∈ [0,1] для всех Ф, а коэффициенты λ_i удовлетворяют условию $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, 0; \lambda_i > 0$ для всех i = 1, n.

По теореме Фишберна представленная функция технической полезности существует тогда и только тогда, когда выполняется условие аддитивной независимости факторов Ф₁...Ф₆.

Аддитивная форма технической полезности не только проста по своей структуре и удобна для проведения расчета, но также допускает единственную физическую интерпретацию, при которой отчетливо прослеживается вклад каждого фактора в общую оценку предпочтительности. В этом случае критерий эффективности будет иметь вид, $\arg \max P_{\Sigma}(Ф_i); i \in 1, n$, удовлетворяющий условиям

существования - обитаемость¹ > обитаемость² ⇔ P¹(Ф_i) > P²(Ф_i) и непрерывности - дифференцируемости по рассматриваемым процедурам. Использование в качестве критерия эффективности максимума технической полезности позволяет автоматически осуществить нормирование разнородных факторов и подфакторов для формализованной оценки эффективности.

В нашем случае функция технической полезности обитаемости рабочего места персонала судна будет иметь следующий вид

$$P = \sum_{i=1}^6 \lambda_i \cdot P_i, \quad (5)$$

Причем P₁ = $\sum_{j=1}^6 \lambda_{1j} \cdot P_{1j}$; P₂ = $\sum_{j=1}^3 \lambda_{2j} \cdot P_{2j}$;

$$P_3 = \sum_{j=1}^3 \lambda_{3j} \cdot P_{3j}; P_4 = \sum_{j=1}^7 \lambda_{4j} \cdot P_{4j};$$

$$P_5 = \sum_{j=1}^3 \lambda_{5j} \cdot P_{5j}; P_6 = \sum_{j=1}^2 \lambda_{6j} \cdot P_{6j}, \quad (6)$$

где P_i(i=1÷6) - эффективность выполнения i-ого фактора, λ_i- коэффициент важности i-ой цели, P_{ij} - эффективность выполнения j-ого подфактора, λ_{ij} - коэффициент важности j-ого подфактора.

Считаем, что все факторы и подфакторы равноценны, а учитывая условие $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, 0$ уравнения (5 и 6) можно записать следующим образом:

$$P = \sum_{i=1}^6 P_i, \quad (7)$$

Многие подфакторы могут характеризоваться технической функцией полезности табличного вида: высокоэффективное исполнение - P_{ijk}=1,0; эффективное исполнение - P_{ijk}=0,8; среднее эффективное исполнение - P_{ijk}=0,63; малоэффективное исполнение - P_{ijk}=0,37; не эффективное исполнение - P_{ijk}=0.

Для оценки эффективности отдельных подфакторов может использоваться релейная функция полезности: неудовлетворительно (не выполнено) - P_{ij}=0, удовлетворительно (выполнено) - P_{ij}=1.

Для оценки полезности подфактора, который характеризуется числовыми значениями может использоваться функция Харрингтона с положительным градиентом

$$P(Ф) = \exp(-\exp(-kx)), \quad (8)$$

где k = $\frac{6}{x_{max}}$; x и x_{max} числовые значения подфактора: текущее значение и максимальное значение - соответственно.

Аналогично может использоваться функция Харрингтона с отрицательным градиентом

$$P(x) = \exp(-\exp(-k(x_{max} - x))), \quad (9)$$

где k = $\frac{6}{x_{max}-x_{min}}$, x_{min} - минимальное числовое значение подфактора.

Используя предложенную методику можно получить объективную оценку условий труда и обитания плавсостава с возможностью принятия управленческих решений.

Заключение

В предлагаемом методе экспертной оценки условия труда и обитания экипажа характеризуются воздействием комплекса факторов, совокупность которых может существенно меняться не только в

зависимости от назначения и типа судна, но и вследствие динамично меняющихся особенностей плавания. Так, тяжесть и напряженность труда судовых специалистов колеблются в широком диапазоне: от 1-2-й категории («оптимальной и благоприятной») до 3-4-й – «неблагоприятной» и даже, в особых условиях рейса, до 5-й «очень неблагоприятной» или экстремальной по напряженности. Неблагоприятные условия среды различаются не только по интенсивности, но и по биологической и социальной значимости, новизне или специфичности воздействия на организм моряка. При этом влияние комбинаций различных факторов может стать экстремальным в результате длительного или повторяющегося воздействия на организм, сопровождаясь активирующим или тормозящим влиянием одних факторов на другие.

Последствия стрессовой реакции особенно неблагоприятны для молодых моряков, что может стать причиной развития перенапряжения и астении. При формировании команды необходимо отдавать предпочтение комсоставу и судовому персоналу с повышенной нервно-психической, эмоциональной и вестибулярной устойчивостью. При этом должна учитываться индивидуальная реактивность организма, т.к. одни и те же факторы судовой среды для одних индивидуумов могут являться обычными, а для других - экстремальными.

Адекватный уровень профпригодности судовых специалистов обеспечивает достаточную продолжительность плавстажа с сохранением необходимых характеристик профессиональной триады: «здоровье, работоспособность и надежность», что является залогом личной и коллективной безопасности на флоте.

Литература

1. Каминский В.Ю., Маринов М.Л., Скороходов Д.А., Стариченков А.Л. Управление движением судов на подводных крыльях в нормальных и аварийных ситуациях // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 2-2 (40). С. 127-138.
2. Каминский В.Ю., Маринов М.Л., Скороходов Д.А. Методика учёта профессионально-ценностного аспекта действий судоводителя во время тренажёрной подготовки // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 1-1 (39). С. 209-214.
3. Кукуи Ф. Д. Модель и механизм побуждения к реализации безопасных технологий при эксплуатации судов компании // Морские интеллектуальные технологии. 2016. №1-1 (31). С. 49 - 55.
4. Марковский И. Н., Позняков С. И., Меньшиков В. И. Функциональная готовность «человеческого элемента» при восприятии навигационной информации от экспертных систем // Рыбное хозяйство. 2013. № 6. С. 93 - 95.
5. Маринов М.Л., Скороходов Д.А., Турусов С.Н., Каминский В.Ю. Моделирование действий специалистов водного транспорта методом профессионально-аксиологического анализа механизмов принятия решений // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 3-1 (41). С. 183-189.
6. Помахо С. В., Смирнов А. Ж., Меньшиков В. И. Использование ассоциативно-структурного подхода при описании аварийной ситуации и вариантов ее развития // Вестник МГТУ. 2011. № 4. С.737 – 739.
7. Зайцев В.И., Виноградов С.А. Некоторые теоретические и практические аспекты условий труда на флоте // Здоровье населения и среда обитания. 2014. №2(251). С.13-15.
8. Скороходов Д.А., Каминский В.Ю., Маринов М.Л., Стариченков А.Л. Управление движением водоизмещающих судов на переходе морем // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 3-1 (45). С. 20-28.
9. Кузнецов М.С., Малышев И.С., Афонин И.Л. Экологическая безопасность на судне – основа жизни моряка // Водный транспорт. 2012. №1(13). С.68-71.
10. Панов Б.В., Балабан С.Б., Чебан С.Г. Состояние здоровья моряков по результатам предварительных и периодических медицинских осмотров. Сообщение второе: показатели заболеваемости моряков возрастных стажевых групп // Актуальные проблемы транспортной медицины. 2013. №4(34). С.47-56.
11. Скороходов Д.А. Системы управления движением кораблей с динамическими принципами поддержания. - СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2000. - 351 с.

References

1. Kaminsky V.Yu., Marinov M.L., Skorohodov D.A., Starichenkov A.L. Upravlenie dvizheniem sudov na podvodnyh kryl'yah v normal'nyh i avarijnyh situacijah [Hydrofoil traffic management in normal and emergency situations]. Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2018. № 2-2 (40). pp. 127-138.
2. Kaminsky V.Yu., Marinov M.L., Skorohodov D.A. Metodika uchyota professional'no-cennostnogo aspekta dejstvij sudovoditelya vo vremya trenazhyornoj podgotovki [Methodology for taking into account the professional-value aspect of the skipper's actions during the simulator training]. Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2018. № 1-1 (39). pp. 209-214.
3. Kukui F. D. Model' i mekhanizm pobuzhdeniya k realizacii bezopasnyh tekhnologij pri ekspluatcii sudov kompanii [Model and mechanism for encouraging the implementation of safe technologies in the operation of the company's vessels]. Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2016. №1-1 (31). pp. 49 - 55.
4. Markovskij I. N., Poznyakov S. I., Men'shikov V. I. Funkcional'naya gotovnost' «chelovecheskogo elementa» pri vospriyatii navigacionnoj informacii ot ekspertnyh system [Functional readiness of the "human element" in the perception of navigation information from expert systems]. Rybnoe hozyajstvo. 2013. № 6. pp. 93 - 95.
5. Marinov M.L., Skorohodov D.A., Turusov S.N., Kaminsky V.Yu. Modelirovanie dejstvij specialistov vodnogo transporta metodom professional'no-aksiologicheskogo analiza mekhanizmov prinyatiya reshenij [Modeling of actions of water transport specialists by the method of professional axiological analysis of decision-making mechanisms]. Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2018. № 3-1 (41). pp. 183-189.

6. Pomaho S. V., Smirnov A. ZH., Men'shikov V. I. Ispol'zovanie associativno-strukturnogo podhoda pri opisani avarijnoj situacii i variantov ee razvitiya [The use of the associative-structural approach in the description of an emergency situation and its development options] // Vestnik MGTU. 2011. № 4. pp. 737 – 739.
7. Zajcev V.I., Vinogradov S.A. Nekotorye teoreticheskie i prakticheskie aspekty uslovij truda na flote [Some theoretical and practical aspects of working conditions in the navy]. Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya. 2014. №2 (251). pp. 13-15.
8. Skorohodov D.A., Kaminsky V.Yu., Marinov M.L., Starichenkov A.L. Upravlenie dvizheniem vodoizmeshchayushchih sudov na perekhode morem [Control of the movement of displacement vessels at sea crossing]. Morskije intelektual'nye tekhnologii. 2019. № 3-1 (45). pp. 20-28.
9. Kuznecov M.S., Malyshev I.S., Afonin I.L. Ekologicheskaya bezopasnost' na sudne – osnova zhizni moryaka [Environmental safety on the ship-the basis of a seafarer's life]. Vodnyj transport. 2012. №1(13). pp. 68-71.
10. Panov B.V., Balaban S.B., CHEban S.G. Sostoyanie zdorov'ya moryakov po rezul'tatam predvaritel'nyh i periodicheskikh medicinskih osmotrov. Soobshchenie vtoroje: pokazateli zaboлеваemosti moryakov vozrastnyh stazhevnyh grupp [The state of health of seafarers based on the results of preliminary and periodic medical examinations. Message two: morbidity rates of seafarers of age-related age groups]. Aktual'nye problemy transportnoj mediciny. 2013. №4(34). pp. 47-56.
11. Skorohodov D.A. Sistemy upravleniya dvizheniem korablej s dinamicheskimi principami podderzhaniya [The motion control system vehicles with dynamic principles of support]. SPb. CNII «Elektropribor». 2000. 351 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Валерий Юрьевич Каминский, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией, Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук, 199178, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 12 линия, 13, e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru

Дмитрий Алексеевич Скороходов, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук, 199178, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 12 линия, 13; e-mail: skorohodda@mail.ru

Марин Любенов Маринов, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 199178, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 12 линия, 13, e-mail: marinlomsky@gmail.com

Valery Yu. Kaminsky, senior lecturer, PhD (Eng), Head of the laboratory, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science 13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199178, Russian Federation, e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru

Dmitriy A. Skorokhodov, professor, Dr. Sci. (Eng), Chief researcher, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science 13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199178, Russian Federation; e-mail: skorohodda@mail.ru

Marin L. Marinov, PhD (Eng), leading researcher, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science, 13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199178, Russian Federation, e-mail: marinlomsky@gmail.com

Поступила в редакцию: 15.10.2020

Принята к публикации: 15.02.2021

УДК 621.391.26, 004.627, 932.2

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.009

Высокоскоростной алгоритм передачи видеоинформации о чрезвычайных ситуациях на объектах транспорта

И.Г. Малыгин¹ e-mail: malygin_com@mail.ru, О.А. Королев¹ e-mail: korolev@iptran.ru¹Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук

Аннотация. Современные интеллектуальные видеосистемы наблюдения стали все больше акцентироваться на передачу в реальном времени высококачественного видео различных важных событий, в том числе чрезвычайных ситуаций. Для высокопроизводительных систем передачи видеоинформации нового поколения необходимы эффективные структурные решения, способные как к высокой скорости передачи, так и к высокой точности вычисления. Такие структуры должны обрабатывать огромные последовательности изображений, при этом каждый видеопоток должен характеризоваться высоким разрешением с минимальным шумом и искажениями, потребляя при этом как можно меньше мощности. Спектральные алгоритмы обработки видеоинформации являются наиболее распространенным способом передачи в реальном времени, в частности дискретное косинусное преобразование. При этом исходное изображение подвергается преобразованию из пространственной в частотную область с целью сжатия путём уменьшения или устранения избыточности визуальных данных. Неявное вычисление преобразования последовательности 8-точечного массива приводит к эффективному сжатию, требующему не более пятикратного выполнения операции умножения. В статье предложены архитектура с низкой структурой сложности и метод преобразования изображений на основе алгебры целых чисел.

Ключевые слова: Параллельная обработка видео, дискретное косинусное преобразование, квантование, сжатие и восстановление изображений, вычислительная сложность.

High-speed algorithm for transmitting video information about emergency situations on transport objects

Igor G. Malygin¹ e-mail: malygin_com@mail.ru, Oleg A. Korolev¹ e-mail: korolev@iptran.ru¹Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation

Abstract. Modern intelligent video surveillance systems have become increasingly focused on real-time transmission of high-quality video of various important events, including emergencies. For high-performance video information transmission systems of the new generation, efficient structural solutions are needed that are capable of both high transmission speed and high calculation accuracy. Such structures must process huge sequences of images, and each video stream must be characterized by high resolution and with minimal noise and distortion, while consuming as little power as possible. Spectral algorithms for processing video information are the most common method of transmission in real time, in particular the discrete cosine transform. In this case, the original image is transformed from the spatial to the frequency domain in order to compress by reducing or eliminating the redundancy of visual data. Implicitly calculating the sequence transformation of an 8-point array results in efficient compression, requiring no more than five times the multiplication operation. In this paper, we propose an architecture with a low complexity structure and image transformation method based on the algebra of integers

Keywords: Parallel video processing, discrete cosine transform, quantization, image compression and recovery, computational complexity.

Введение

Морские перевозки являются наиболее энергоэффективным средством транспортировки больших объемов грузов на большие расстояния. Центральная роль морского транспорта в мировой логистической системе очевидна в статистических оценках Международной морской организации: около 90% мировой торговли осуществляется морским транспортом и объемы торговли по-прежнему растут даже быстрее, чем в мировой экономике [1]. Рост мировой экономики и торговли приводит к увеличению спроса на суда с увеличенной грузоподъемностью и более высокой скоростью движения, а также подчеркивает озабоченность по поводу безопасности на море. Решение последней сегодня связывают с ускоренным развитием информационных технологий [2] и глубокой интеллектуализацией систем управления сложными робототехническими системами, в том числе, системами управления морскими судами, а также иными элементами судна, обеспечивающими реализацию автономного беспилотного движения.

Особенности таких технологий в границах развития четвертой индустриальной революции обсуждались в работах [3, 4, 5].

Проблемы интеллектуального наблюдения и контроля морских судов связаны, в первую очередь, с обеспечением оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации. При этом главную роль в создании эффективных средств контроля играет обработка видео, полученного из различных камер наблюдения за морскими судами.

Высококачественное цифровое видео в мультимедийных устройствах и сетях video-over-IP, подключенных к Интернету, находится в стадии экспоненциального роста и поэтому спрос на приложения, способные воспроизводить видео с расширенным динамическим диапазоном (HDR-high dynamic range), неуклонно растет.

HDR – это технология совершенно нового поколения, еще на шаг приближающая изображение к естественной передаче цветов и контрастов между самыми светлыми и самыми темными участками. HDR-видео позволяет воссоздать реалистичное

изображение в процессе съемки, обработки, передачи и воспроизведения.

Наиболее распространенным является применение приложений визуализации HDR в следующих областях: транспортное наблюдение [5,6], геопространственное дистанционное зондирование [6,7], обеспечение национальной безопасности [7,8], обработка спутниковых изображений [9,10], создание беспилотных летательных аппаратов [9], разработка приложений автомобильных помощников водителя [10] и мультимедийные беспроводные сенсорные сети [11]. Такие HDR-видеосистемы, работающие с высоким разрешением, требуют соответствующего оборудования, способного обеспечить значительную пропускную способность при допустимой сложности по площади и мощности.

Технология HDR имеет следующие основные характеристики:

- высокий контраст с обеспечением насыщенности цветов;
- высокий динамический диапазон (т. е., увеличивает максимальную яркость и глубину черного цвета);
- расширенное цветовое пространство (создает широкую цветовую гамму);
- высокая точность изображения (поддерживает глубину цвета 10 бит и 1024 оттенка);
- поддерживает оптоэлектронную передачу видео;
- поддерживает статические и динамические метаданные.

Двумерное (2D) дискретное косинусное преобразование (ДКП) является фундаментальной операцией почти для всех систем сжатия видео в реальном времени. Важно отметить, что в результате проводимых в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН) исследований разработаны и предложены аппаратная и программная реализации кодека на основе трехмерного дискретного косинусного

преобразования с использованием технологии «система на кристалле». Схемотехническая реализация ДКП напрямую связана с шумом, искажениями, площадью схемы и энергопотреблением соответствующих видеоустройств [12]. Обычно 2D ДКП вычисляется последовательными вызовами одномерного (1D) ДКП, примененного к столбцам изображения 8×8 , а затем к строкам транспонированного результирующего промежуточного вычисления [13]. Реализация с помощью сверхбольших интегральных схем (СБИС) тригонометрических преобразований, таких как ДКП и дискретное Фурье преобразование (ДФП) действительно является актуальной областью исследований [14].

Вещественное или комплексное число называется алгебраическим целым числом, если оно является корнем монического многочлена с целыми трансформантами [10, 13].

В данной статье поставлены следующие цели:

- 1) реализация быстрого алгоритма ДКП объектов транспорта на примере морских сюжетов с применением технологии «система на кристалле» при реализации параллельных структур спектрального целочисленного преобразования;
- 2) оценка аппаратных ресурсов (числа операций умножения и сложения) для реализации различных целочисленных алгоритмов косинусного преобразования с использованием программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

1. Описание косинусного преобразования

ДКП — это технология, которая преобразует исходный сигнал изображения из пространственной области в частотную область. ДКП обладает свойством более высокого энергетического уплотнения по сравнению с ДФП, ДСП и ДВП, поэтому ДКП получил широкое распространение при решении задач сжатия изображений и видео. Изображение сначала разбивается на квадратные блоки размером $n \times n$. Затем каждый блок подвергается 2D ДКП (рис. 1).

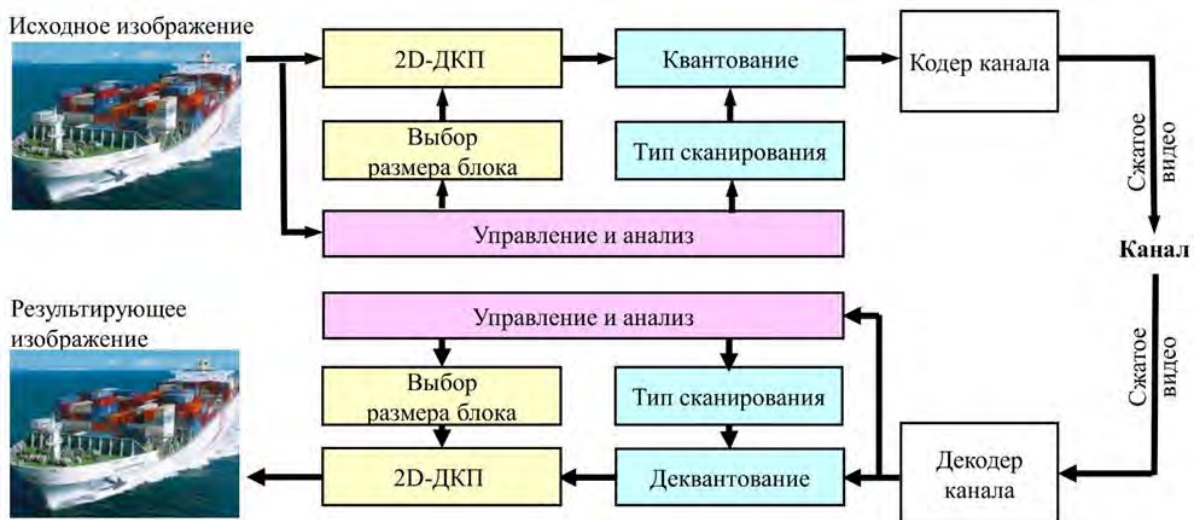


Рис. 1. Структура дискретного косинусного преобразования

Для точного вычисления ДКП основное препятствие возникает при реализации иррационального умножения трансформант [15, 16], традиционно ДКП вычисляется путем округления значения трансформант ДКП (происходит расширение диапазона нуля). Как следствие, в результате такого округления систематически растет ошибка, приводящая к ухудшению отношения сигнал/шум. Для решения этой проблемы было использовано алгебраическое целочисленное кодирование (AI). Основная концепция такого подхода при кодировании заключается в преобразовании иррациональных чисел в массив целых чисел, который является безошибочным вычислением и тем самым приводит к уменьшению ошибки.

Квантование уменьшает количество битов, необходимых для хранения целочисленного значения, уменьшая точность целого числа. Предлагаемая архитектура основана на мало-затратном параллельном алгоритме ДКП для случая 8-точечного ДКП и характеризующая относительно низкой вычислительной сложностью [9, 17, 18], далее осуществляется энтропийное кодирования по принципу Хаффмана, что позволяет дополнительно сжимать видео данные. Все операции выполняются в режимах, обеспечивающих масштабирование и сохранение визуальных данных.

Прямое 2D-ДКП. Прямое 2D-ДКП выполняется над элементами видеоинформации $X(k_1, k_2)$ с размером $N \times N$ по следующей формуле:

$$X(k_1, k_2) = \frac{8}{N^2} \varepsilon_{k_1} \varepsilon_{k_2} \sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} x(n_1, n_2) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2n_1 + 1)k_1\right) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2n_2 + 1)k_2\right) \quad (1),$$

где $k_1, k_2 = 0, 1, 2, \dots, N - 1$, а $x(n_1, n_2)$ - яркость пикселей исходного блока размером $n_1 \times n_2$.

Обратное 2D ДКП. Обратное 2D ДКП выполняется по следующей формуле:

$$x(n_1, n_2) = \sum_{k_1=0}^{N-1} \sum_{k_2=0}^{N-1} \varepsilon_{k_1} \varepsilon_{k_2} X(k_1, k_2) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2n_1 + 1)k_1\right) \times \cos\left(\frac{\pi}{2N}(2n_2 + 1)k_2\right) \quad (2),$$

где $n_1, n_2 = 0, 1, \dots, N - 1$ и $\varepsilon_{ki} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{при } k_i = 0, i = 1, 2, 3 \\ 1, & \text{в другом случае} \end{cases}$

2. Целочисленный алгоритм быстрого ДКП

После того, как ДКП вычислено, полученные данные в виде трансформант ДКП могут быть уменьшены путём сохранения сконцентрированной

информации в трансформантах верхнего левого угла матрицы ДКП, а остальные трансформанты, имеющие малые значения приравнять к нулю. Это означает, что энергия изображения сосредоточена в нескольких трансформантах ДКП остается неизменной, что позволяет восстанавливать исходный сигнал изображения с заданной точностью.

Для минимизации объема вычислений используется 8-точечный ДКП-алгоритм с минимальным числом арифметических операций. Схема потока видео данных приведена на рис. 2 и показывает последовательность шагов для вычисления ДКП.

Предлагаемый подход ДКП. Процедура сжатия изображения с помощью ДКП выглядит так, как показано на рис. 2 и его этапы заключаются в следующем:

- 1) изображение разделяется на блоки размером 8x8 пикселей;
- 2) производится сканирование изображения от левого верхнего до правого нижнего угла сверху вниз, ДКП применяется к каждому блоку изображения;
- 3) с целью снижения вычислительной мощности отбрасывается дробная часть каждой полученной трансформанты ДКП;
- 4) затем каждый блок трансформант сжимается путем выполнения адаптивного квантования с учетом расположения трансформант в матрице ДКП;
- 5) полученный набор сжатых и представляющих изображение трансформант записываются в буфер;
- 6) наконец, квантованные ДКП-трансформанты подвергаются энтропийному кодированию для передачи по каналу связи (Хаффман-кодер), в результате выходные данные представляют собой последовательность сжатых данных.

Этапы выполнения ДКП для параллельной реализации на ПЛИС:

- Шаг 1:
 $b(0) := a(0) + a(7);$
 $b(1) := a(1) + a(6); b(2) := a(3) - a(4);$
 $b(3) := a(1) - a(6); b(4) := a(2) + a(5); b(5) := a(3) + a(4);$
 $b(6) := a(2) - a(5); b(7) := a(0) - a(7);$
- Шаг 2:
 $c(2) := b(2) + b(6);$
 $c(3) := b(1) + b(4); c(4) := b(0) - b(5); c(5) := b(3) + b(7);$
 $c(6) := b(3) + b(6); c(7) := b(7)$
- Шаг 3:

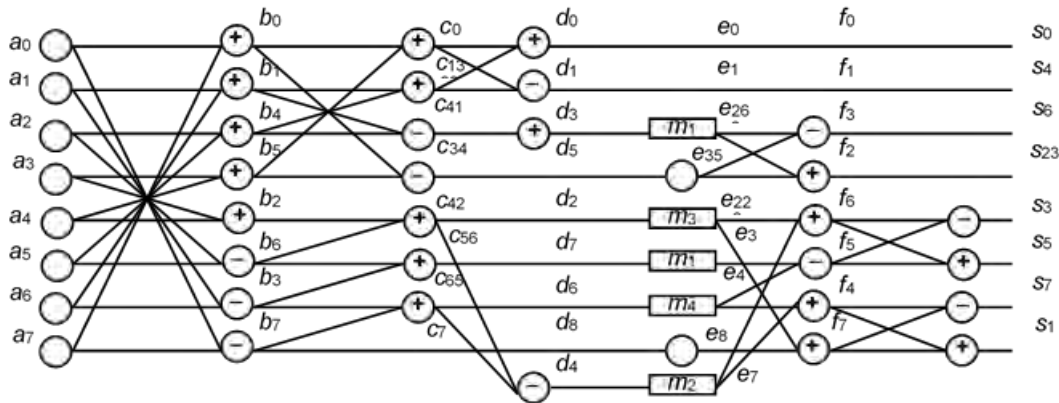


Рис. 2. Схема быстрого целочисленного ДКП

$d(0) := c(0) + c(3); d(1) := c(0) - c(3);$
 $d(2) := c(2); d(3) := c(1) + c(4);$
 $d(4) := c(2) - c(5);$
 $d(5) := c(4); d(6) := c(5); d(7) := c(6);$
 $d(8) := c(7)$

Шаг 4:

$e(0) := d(0); e(1) := d(1);$
 $e(2) := m(3) * m(2); e(3) := m(1) * m(7);$
 $e(4) := m(4) * m(6); e(5) := d(5);$
 $e(6) := m(1) * m(3);$
 $e(7) := m(2) * m(4); e(8) := d(8)$

Шаг 5:

$f(0) := e(0); f(1) := e(1); f(2) := e(5) + e(6);$
 $f(3) := e(5) - e(6); f(4) := e(3) + e(8); f(5) := e(8) - e(3);$
 $f(6) := e(2) + e(7); f(7) := e(4) + e(7)$

Шаг 6:

$s(0) := f(0); s(1) := f(4) + f(7);$
 $s(2) := f(2); s(3) := f(5) - f(6);$

Фрагмент программы для вычисления ДКП:

$a(i), y(i)$ - представляют собой входные и выходные данные соответственно;

$\{s_i\}$ – полученные значения трансформанты ДКП,

for i in 0 to 7 loop

$y(i) := s-a(i) * s(i) * 4.0;$

end loop;

$m1 = \cos(\pi/4); m2 = \cos(3\pi/8);$

$m3 = \cos(\pi/8) - \cos(3\pi/8); m4 = \cos(\pi/8) + \cos(3\pi/8);$

$\{m1, m2, m3, m4\} = \{\cos(4\pi/16), \cos(6\pi/16), (\cos(2\pi/16), \cos(6\pi/16)), (\cos(2\pi/16), \cos(6\pi/16))\},$

$s(0) = 0.5/\sqrt{2}; s(i) = 0.25/\cos(\pi(i/16)), i = 1, 2, \dots, 7.$

3. Квантование

Сведения из ДКП выходного сигнала квантуется с помощью квантователя. Квантование осуществляется путем деления каждого трансформанта ДКП на соответствующий размер шага квантователя с последующим округлением до ближайшего целого числа с помощью уравнения:

$$F^Q(u, v) = \text{Integer Round} \left(\frac{F(u, v)}{Q(u, v)} \right) \quad (3)$$

Сжатие изображений на основе ДКП основано на двух процедурах уменьшения объема видео данных, необходимых для представления изображения:

- 1) квантование трансформантов ДКП;
- 2) энтропийное кодирование квантованных трансформант.

Квантование – это процесс уменьшения числа возможных значений величины путем сокращения числа битов, необходимых для представления самих трансформант ДКП. Энтропийное кодирование – это

представление квантованных трансформант в виде последовательности битов с использованием различных алгоритмов кодирования с учетом частоты повторения битов «0» и «1».

4. Результаты исследования алгоритмов ДКП

Стандартные алгоритмы ДКП по своей сути предполагают, что длина входной и выходной последовательностей одинакова. Однако, исследования, проведенные в лаборатории интеллектуальных транспортных систем ИПТ РАН, показали, что для сжатия изображений наиболее важная информация об исходном сигнале содержится в низкочастотных компонентах ДКП (т.е. верхний левый угол матрицы коэффициентов ДКП). Поэтому при обработке различных классов морских сюжетов были применены зигзагообразное сканирование для вычисления только низкочастотных компонент.

На рис. 3 показан рост вычислительной сложности, выраженной в количестве операций умножения и сложения, в зависимости от числа искоемых коэффициентов ДКП.

В качестве исходных видео данных были использованы морские сюжеты из компактной представительной выборки, предложенной в работе авторов [19] и представляет собой следующие основные классы морских сюжетов (номера 1, 2 и 3 на рис. 3):

- 1) сюжеты с малой мерой неопределенности и малой широкополосностью;
- 2) сюжеты со средней мерой неопределенности и средней широкополосностью;
- 3) сюжеты с высокой мерой неопределенности и высокой широкополосностью;

В результате проведенных в ИПТ РАН исследований можно сделать следующие основные выводы.

При применении кодирования изображения (видео) статистика показывает, что только 6-7 коэффициентов матрицы ДКП размером 8x8 ненулевые (7-16 коэффициентов для особых случаев), особенно хроматические разностные U/V сигналы имеют гораздо меньше ненулевых коэффициентов. Как правило, ДКП концентрирует энергию изображения в верхнем левом углу, а большинство нулей лежат в нижнем правом углу. В частности, при кодировании изображений с низкой скоростью передачи битов вычисляется лишь небольшая доля коэффициентов ДКП, расположенных в верхнем левом углу.

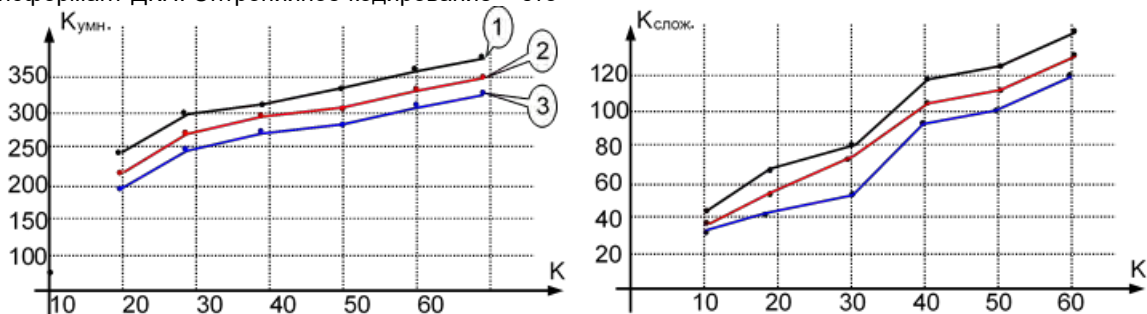


Рис. 3. Число операции умножений для трех классов изображений

Существующие хорошо известные быстрые алгоритмы ДКП фокусируются главным образом на том, чтобы сделать число операций целых 2D матриц размером 8×8 коэффициентов ДКП как можно меньшим. Однако, каждый коэффициент ДКП не может быть вычислен независимо от других, следовательно, акцент в данной статье авторы сделали не на то, чтобы уменьшить число операций с помощью алгебраических или тригонометрических функций, а использовать статистические и анизотропические свойства сигналов изображений.

Заключение

В настоящей статье предложен математический аппарат быстрого вычисления ДКП, основанный на применении целочисленного аппарата преобразования косинусных функций, который делит размеры преобразования на более короткие с целью уменьшения числа арифметических операции умножения и сложения, что позволяет снизить затраты на их выполнение и способствует своевременной доставке видео, в том числе с

информацией о чрезвычайных ситуациях в органы управления МЧС России.

Из вышеприведенного исследования можно сделать следующие основные выводы:

- предлагаемый быстрый алгоритм на основе параллельного целочисленного алгоритма вычисления дискретного косинусного преобразования позволяет сокращать число умножений в 3-4 раза, а числа сложений в 2-3 раза по сравнению с классическими вариантами, применяемые в стандартах сжатия MPEGx;

- поскольку метод классического косинусного преобразования является более сложным в реализации, то переход к предлагаемому алгоритму позволяет уменьшить вычислительную сложность на 10-20 %;

- использование предложенного параллельного алгоритма представляется оптимальным вариантом для реализации малогабаритных видеосистем на кристалле для применения на транспортных средствах, в том числе и на беспилотных летательных аппаратах.

Литература

1. Andler S., Fredin M., Gustavsson P., Laere J., Nilsson M., Svenson P., 2009. SMAR TraIn—A concept for spoof resistant tracking of vessels and detection of adverse intentions. Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense VIII.
2. Малыгин И.Г., Комашинский В.И., Асаул М.А. Интеллектуальные технологии на водном транспорте // Морские интеллектуальные технологии. 2017. № 2-2 (36). С. 55-65.
3. Малыгин И.Г., Комашинский В.И., Королев О.А. Информационно-управляющие системы водного транспорта в период четвертой индустриальной революции // Транспорт: наука, техника, управление. 2017. № 8. С. 3-12
4. Фахми Ш.С., Шаталова Н.В., Селиверстов С.А., Хасан Я.А., Абдулджаббар Н.Т.М., Иванов А.В. Гибридный метод преобразования изображений морских судов // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 3-3 (45). С. 121-131.
5. Фахми Ш.С., Шаталова Н.В., Костикова Е.В. Транспортные видеосистемы на кристалле: методы и технологии проектирования. – СПб: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2020. 346 с.
6. Magli E., Taubman D., "Image compression practices and standards for geospatial information systems," in Proceedings of the 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, vol. 1, Jul. 2003, pp. 654–656.
7. Chiasserini C.-F., Magli E., Energy consumption and image quality in wireless video-surveillance networks," in Proceedings of the 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol. 5, Sep. 2002, pp. 2357–2361.
8. Dawood A.S., Williams J.A., Visser S.J., "On-board satellite image compression using reconfigurable FPGAs," in Proceedings of the IEEE International Conference on Field-Programmable Technology, Dec. 2002, pp. 306–310.
9. Bennett B., Dee C., Meyer C., "Emerging methodologies in encoding airborne sensor video and metadata," in Proceedings of the 2009 IEEE Military Communications Conference, Oct. 2009, pp. 1–6.
10. Marsi S., Impoco G., Ukovich A., Carrato S., Ramponi G., "Video enhancement and dynamic range control of HDR sequences for automotive applications," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2007, pp. 1–9, 2007.
11. Akyildiz I.F., Melodia T., Chowdhury K.R., "A survey on wireless multimedia sensor networks," Computer Networks, vol. 51, no. 4, pp. 921–960, 2007.
12. Хасан Я.А., Рыжов Н.Г., Фахми Ш.С., Костикова Е.В. Адаптивный способ спектрального преобразования видеoinформации транспортных изображений // Информационные технологии. 2020. Т. 26. № 1. С. 39-45.
13. Костикова Е.В., Фахми Ш.С., Хасан Я.А., Селиверстов С.А., Соболев А.В., Подопригора Н.В. Адаптивное спектральное кодирование изображений в системах видеонаблюдения // Морские интеллектуальные технологии. 2020. Т. 1. № 2 (48). С. 142-151.
14. Иванов А.В., Фахми Ш.С. Методы, алгоритмы и устройства кодирования и декодирования изображений. – СПб: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. 260 с.
15. Хасан Я.А., Фахми Ш.С. Адаптивное трехмерное косинусное преобразование транспортных сюжетов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 3. С. 482-491.
16. Arai, Y., Agui, T., Nakajima, M.: "A fast DCT-SQ scheme for images", Trans. IEICE, 1988, E71, (11), pp. 1095–1097.
17. Wahid K., Dimitrov V., Jullien G., "Error-free computation of 8×8 2D DCT and IDCT using two-dimensional algebraic integer quantization", in Proceedings of the 17th IEEE Symposium on Computer Arithmetic. IEEE Computer Society, Jun. 2005, pp. 214–221.

18. Фахми Ш.С., Селиверстов Я.А., Шаталова Н.В., Крюкова М.С., Хасан Я.А., Исмаил А.М.М., Ковалёв К.Е. Методы, алгоритмы кодирования и классификация изображений морских судов // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 3-1 (45). С. 145-155.

References

1. Andler S., Fredin M., Gustavsson P., Laere J., Nilsson M., Svenson P., 2009. SMAR TraIn—A concept for spoof resistant tracking of vessels and detection of adverse intentions. Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense VIII.
2. Malygin I.G., Komashinskiy V.I., Asaul M.A. Intellektual'nye tekhnologii na vodnom transporte [The intellectual technologies on water transport]. Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2017. № 2-2 (36). pp. 55-65.
3. Malygin I.G., Komashinskiy V.I., Korolev O.A. Informacionno-upravlyayushchie sistemy vodnogo transporta v period chetvertoj industrial'noj revolyucii [Management Information Systems of Water Transport in the Period of the Fourth Industrial Revolution]. Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2017. № 8. pp. 3-12
4. Fahmi S.S., Shatalova N.V., Seliverstov S.A., Hasan Y.A.A., Abduljabar N.T.M., Ivanov A.V. Gibridnyj metod preobrazovaniya izobrazhenij morskikh sudov [Hybrid conversion method of marine image]. Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 3-3 (45). pp. 121-131.
5. Fahmi S.S., Shatalova N.V., Kostikova E.V. Transportnye videosistemy na kristalle: metody i tekhnologii proektirovaniya [Transport video systems on a chip: design methods and technologies]. SPb: Izdatel'sko-poligraficheskaya asociaciya vysshih uchebnyh zavedenij, 2020. 346 p.
6. Magli E., Taubman D., "Image compression practices and standards for geospatial information systems," in Proceedings of the 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, vol. 1, Jul. 2003, pp. 654–656.
7. Chiasserini C.-F., Magli E., Energy consumption and image quality in wireless video-surveillance networks," in Proceedings of the 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol. 5, Sep. 2002, pp. 2357–2361.
8. Dawood A.S., Williams J.A., Visser S.J., "On-board satellite image compression using reconfigurable FPGAs," in Proceedings of the IEEE International Conference on Field-Programmable Technology, Dec. 2002, pp. 306–310.
9. Bennett B., Dee C., Meyer C., "Emerging methodologies in encoding airborne sensor video and metadata," in Proceedings of the 2009 IEEE Military Communications Conference, Oct. 2009, pp. 1–6.
10. Marsi S., Impoco G., Ukovich A., Carrato S., Ramponi G., "Video enhancement and dynamic range control of HDR sequences for automotive applications," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2007, pp. 1–9, 2007.
11. Akyildiz I.F., Melodia T., Chowdhury K.R., "A survey on wireless multimedia sensor networks," Computer Networks, vol. 51, no. 4, pp. 921–960, 2007.
12. Hasan Y.A.A., Ryzhov N.G., Fahmi S.S., Kostikova E.V. Adaptivnyj sposob spektral'nogo preobrazovaniya videoinformacii transportnyh izobrazhenij [Adaptive method of spectral transformation of video information of transport images]. Information technologies. 2020. Vol. 26. № 1. pp. 39-45.
13. Kostikova E.V., Fahmi S.S., Hasan Y.A.A., Seliverstov S.A., Sobolev A.V., Podoprigora N.V. Adaptivnoe spektral'noe kodirovanie izobrazhenij v sistemah videonablyudeniya [The fast algorithm of spectral transformation of images in video surveillance systems]. Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. Vol. 1. № 2 (48). pp. 142-151.
14. Ivanov A.V., Fahmi S.S. Metody, algoritmy i ustrojstva kodirovaniya i dekodirovaniya izobrazhenij [Methods, algorithms and devices for encoding and decoding images]. SPb: Izdatel'sko-poligraficheskaya asociaciya vysshih uchebnyh zavedenij, 2019. 260 p.
15. Hasan Y.A.A., Fahmi S.S. Adaptivnoe trekhmernoe kosinusnoe preobrazovanie transportnyh syuzhetov [Adaptive three-dimensional discrete cosine transform of transport images]. Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki. 2019. vol. 19. № 3. pp. 482-491.
16. Arai, Y., Agui, T., Nakajima, M.: "A fast DCT-SQ scheme for images", Trans. IEICE, 1988, E71, (11), pp. 1095 - 1097.
17. Wahid K., Dimitrov V., Jullien G., "Error-free computation of 8×8 2D DCT and IDCT using two-dimensional algebraic integer quantization", in Proceedings of the 17th IEEE Symposium on Computer Arithmetic. IEEE Computer Society, Jun. 2005, pp. 214 - 221.
18. Fahmi S.S., Seliverstov Y.A., Shatalova N.V., Kryukova M.S., Hasan Y.A.A., Ismael A.M.M., Kovalev K.E. Metody, algoritmy kodirovaniya i klassifikaciya izobrazhenij morskikh sudov [Methods, coding algorithms and image classification of marine vessels]. Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 3-1 (45). pp. 145-155.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Игорь Геннадьевич Малыгин, доктор технических наук, профессор, врио директора Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 199178, Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, д.13. Тел. +7(812) 323-29-54, e-mail: malygin_com@mail.ru

Igor G. Malygin, professor, Dr.Sci. (Eng), acting director Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science, 13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199178, Russian Federation. Tel. +7(812)323-29-54, e-mail: malygin_com@mail.ru

Олег Александрович Королев, научный сотрудник,
Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко
Российской академии наук, 199178, Санкт-Петербург,
В.О. 12 линия, 13. Тел. +7(812) 323-29-54, e-mail:
korolev@iptran.ru

Oleg A. Korolev, researcher, Solomenko Institute of
Transport Problems of the Russian Academy of
Sciences, 13, line 12, Vasilyevsky Island, St.
Petersburg, 199178, Russian Federation. Tel.
+7(812)323-29-54, e-mail: korolev@iptran.ru

Поступила в редакцию: 15.10.2020
Принята к публикации: 11.02.2021

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 681.5.07:007.2

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.010

Информационное обеспечение системы управления судном

А.В. Соловьев¹ e-mail: solovev@rivregnn.ru, **А.В. Чернышов**² e-mail: andrey.chernyshov5@gmail.com,
М.М. Чиркова³ e-mail: michina1942@mail.ru

¹ФАУ Российский Речной Регистр, Верхне-Волжский филиал,

²Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р.Е. Алексеева

³Волжский Государственный Университет Водного Транспорта

Аннотация. В статье проводится анализ возможных ситуаций, которые могут стать причиной аварий и катастроф на водном транспорте и уменьшение которых возможно за счет увеличения информационных составляющих при формировании управления. Показано, что одной из причин формирования внештатных ситуаций у речных судов и морских, в прибрежных условиях плавания, может быть изменение динамических свойств объекта управления при изменении состояния внешней среды. Неучет этого фактора ведет к недостаточному информационному обеспечению авторулевого в системе «судно – авторулевой». Обосновывается введение в формуляр маневренных характеристик судна дополнительной информации о его динамических особенностях: возможных максимальных значений углов перекаладки рулевых органов, меньше которых реакция судна на изменение управления может быть непредсказуема; размере и расположении областей пониженной управляемости объекта (которые могут появиться при некоторых сочетаниях состояния внешней среды, значения координат состояния судна и управления). Данные динамические особенности существенно зависят от конструкции корпуса судна, скорости перекаладки рулевых органов, состояния внешней среды (глубины судового хода,) и должны учитываться при разработке алгоритма управления.

Ключевые слова: управление судном, фактор внештатных ситуаций, формуляр маневренных характеристик, критические углы перекаладки, области пониженной управляемости, характеристика чувствительности к изменению управляющего воздействия, критерий управляемости.

Data support of ship's control system

Alexey V. Solovev¹ e-mail: solovev@rivregnn.ru, **Andrey V. Chernyshov**² e-mail: andrey.chernyshov5@gmail.com,
Margarita M. Chirkova³ e-mail: michina1942@mail.ru

¹ Russian River Register, Upper Volga branch,

² Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

³ Volga State University of Water Transport

Abstract. This article analyzes the situations, which can cause accidents and catastrophes on water transport, and which reduction is possible due to increase of information components at formation of control. It is shown that one of the factors of formation of emergency situations at river and sea vessels, in coastal conditions of navigation, can be variability of object dynamics at change of external environment condition and insufficient information support of the automatic control device. Additional information: possible maximal values of steering angles, less than which the reaction of the vessel to changes in control may be unpredictable; size and location of areas of low controllability of the object. These dynamic features significantly depend on the state of the environment and should be taken into account when developing the control algorithm.

Key words: ship navigation, emergency situations factor, wheelhouse poster, critical rudder degree, areas of low control response, sensitivity function: control and measured state incremental ratio, control response criteria, optimization parameters for marine hull designing

Введение

Безопасность на водном транспорте до настоящего момента является нерешенной проблемой. Серьезные аварии влекут за собой экологические проблемы и материальные затраты, а катастрофы – к человеческим жертвам. Несмотря на прилагаемые усилия, количество аварий и катастроф на транспорте практически не снижается [1, 2, 3, 4]. Внедрение современного навигационного оборудования не приносит желаемого эффекта [3], а решение считать причиной аварий состояние внешней среды не всегда обосновано. Так, например, в работе [4] показано, что число посадок на мель в хорошую погоду превосходит число посадок на мель в неблагоприятную. Данные по аварийности можно найти в ряде источников. Так, в [5, 6] дана статистика аварийности на судах мирового торгового флота за период 1975-2012 гг. В статье [7]

раскрываются причины аварийности морских судов и мероприятия, направленные на их устранение. Подробный анализ причин и факторов в различные периоды можно также найти в официальных документах, публикуемых Ространснадзором [8, 9, 10, 11]. Решениям проблемы повышения безопасности судоходства с учетом человеческого фактора посвящена работа [11]. Подробная классификация аварий дана в [10]:

Навигационные – навал, посадка/выброс на мель, столкновение, касание притопленного предмета, потеря остойчивости/плавучести, касание грунта, ледовый плен.

Технические – повреждение главного двигателя, винто-рулевого комплекса, корпуса, судовых устройств, а также взрывы и пожары.

По статистике наибольшее число аварий на транспорте – навигационные, причинами которых являются:

недостатки в организации ходовой навигационной вахты и штурманской службы;

несоблюдение общепринятых приемов и способов управления судном;

неучет гидрометеорологических условий районов плавания и места стоянки судов;

незнание маневренных характеристик конкретного судна;

снижение уровня профессиональной подготовки экипажей судов.

С целью снижения аварийности Ространснадзор разработал комплекс мер [3; 9; 10]:

информирование (печать сборников, бюллетеней);

оперативный контроль ежедневной информации по аварийным случаям;

усиление требований при дипломировании плавсостава;

проведение внеочередных проверок компаний-судовладельцев.

Меры, применяемые Ространснадзором, направлены на исключение вышеуказанных причин, но одна из причин навигационных аварий, связанная с незнанием динамических особенностей судна (изменчивость маневренных характеристик и наличие скрытых особенностей), остается вне рассмотрения, несмотря на существование ряда международных и Российских документов, регламентирующих информирование судоводителя о маневренных характеристиках судна. К таким документам относятся, например, циркуляры ИМО: А.160 (ES.IV) «Рекомендации по данным, имеющим отношение к способностям судов маневрировать и выбегу при торможении»; А.209 (VII) «Рекомендация по информации, подлежащей включению в журнал маневренных элементов судна»; А.601(15) «Требования к отображению маневренной информации на судах»; Рекомендации по организации штурманской службы на судах Министерства морского флота (РШС-89). Таким образом, количество навигационных аварий не уменьшается даже при наличии на судах лоцманских карточек, таблиц и формуляров маневренных характеристик.

К маневренным характеристикам относят ходкость, циркуляцию и управляемость. Очевидно, что эти характеристики уникальны для каждого судна и зависят от состояния внешней среды F (ветер, волнение, глубина и ширина судового хода). Этот факт создает определенные трудности при формировании управления. Маневренные характеристики судна определяются на этапе ходовых испытаний и записываются в формуляр. Однако практически невозможно составить таблицу маневренных характеристик для любых внешних условий. Так, в [1] приводится пример аварийной ситуации возникшей, по причине незнания лоцманом маневренных характеристик: «...10 сентября 2017 в порту Ростов-на-Дону, при постановке к причалу №52, капитан теплохода «VOLGO-BALT 220», в силу сложившихся обстоятельств – дополнительного воздействия на траекторию движения судна ветра и течения, не принял самостоятельного решения, направленного на исправление ошибки лоцмана, а самоустранился от выполнения обязанностей по обеспечению безопасности судна. Не следил за местоположением и движением судна и допустил

навал на стоящий у причала №50 т/х «ALNILAM». В том же источнике отмечается, что «Зачастую, начиная проводку судна, морской лоцман не владеет данными об эксплуатационных и маневренных характеристиках судна...».

Анализ статических характеристик управляемости, построенных как по данным натуральных экспериментов (рис.1) так и по результатам моделирования (рис.2), показывает, что суда имеют некоторые особенности, связанные с маневренными характеристиками судна, незнание и неучет которых, при формировании управления, может быть причиной навигационных аварий и катастроф.

Особенности динамики объекта управления

Суда, как указывалось выше, обладают некоторыми динамическими особенностями, которые не выявляются на этапе стандартных ходовых испытаний и не отражаются в формуляре маневренных характеристик.

В [12] по результатам натуральных экспериментов показано, что при изменении состояния внешней среды (F) изменяется вид статической характеристики судна $Y(U)$ (зависимости угловой скорости поворота ω от перекадки рулевых органов α) от почти линейной до «S-образной» (характеристики А, В рис.1, и 5, 6 рис. 2). Характеристики рисунка 1 построены по результатам моделирования, рисунка 2 по данным натуральных экспериментов.

Изменение угла наклона статической характеристики $k=\Delta\omega/\Delta\alpha$ (А, В, рис. 1; 5, 6, рис. 2) говорит о том, что чувствительность объекта к изменению управления зависит и от величины управления, и от состояния внешней среды, то есть, $k=f(U, F)$ [13, 14]. Диапазон изменения фактора k должен быть занесен в паспортные данные маневренных характеристик судна.

На мелководье может появиться область неоднозначной реакции судна на изменение управления и области пониженной чувствительности к изменению управления (области $E, E1, E2$, рис. 1).

Перекадка рулей в пределах ΔU (рис. 2) может стать причиной неожиданной реакции объекта на управление. Это объясняется тем, что у объектов с «S-образной» характеристикой состояние $Y=0, U=U^*$ является неустойчивым типа седла и судно может уйти как на правостороннюю, с угловой скоростью $\omega=+\omega_0$, так и левостороннюю, с $\omega=-\omega_0$, циркуляцию. Кроме того, величина U^* не стабильна – меняет своё значение с изменением F . Прохождение изображающей точки, при выполнении судном маневра, через области $E1, E2$ может привести к временной задержке в нежелаемом состоянии на Δt секунд (рис. 3). Поэтому, алгоритм, заложенный в устройство управления, должен получать информацию по каналам 1, 2 (рис. 4), используя которую быть способным оценивать меняющееся значение U^* , при котором $\omega=0$, если алгоритм работает в режиме стабилизации судна на курсе. Если осуществляется режим маневра, то необходима информация о возможном существовании и размерах областей $E, E1, E2$,

Если статическая характеристика объекта управления в области малых U из линейной может перейти в нелинейную, то необходимо знать критические углы перекадки $\alpha_{кр}$ (рис.1), меньше

которых формировать управляющее воздействие недопустимо, ввиду непредсказуемой реакции объекта. Информация о возможных максимальных значениях $\alpha_{кр}$ также должна быть занесена в паспорт маневренных характеристик.

Указанные выше динамические особенности дополняют информацию об управляемости судна. Неучет этих особенностей (как штурманом, так и в алгоритме работы авторулевого), особенно при проходе сложных для судоходства участков, существенно повышает риск возникновения внештатной ситуации.

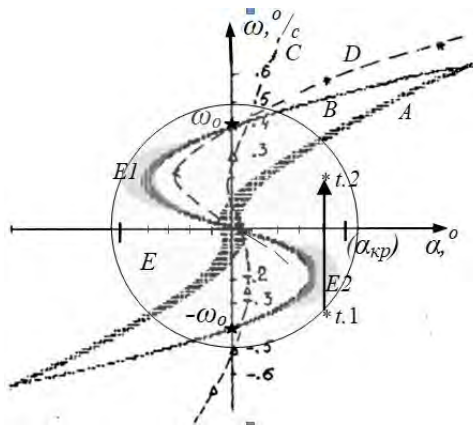


Рис. 1. Статические характеристики речных судов: А – Статическая характеристика нефтеналивного судна проекта 558 на глубокой, В – на мелкой воде, С – пассажирское судно проекта 588 на глубокой, D – на мелкой воде

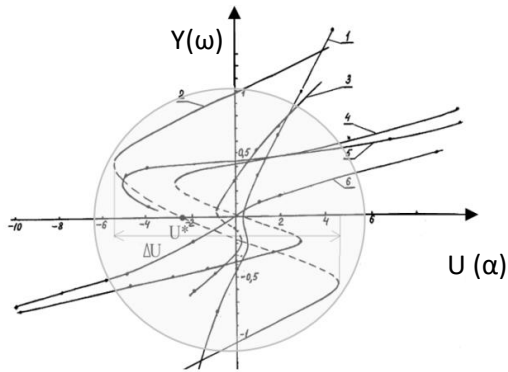


Рис.2. Статические характеристики речных судов: 1 – Озерный толкач, 2 – проект 576А, 3 – проект 19620, 4 – проект 1565, 5 – проект 558 (грузовое), 6 – проект 558 (балласт)

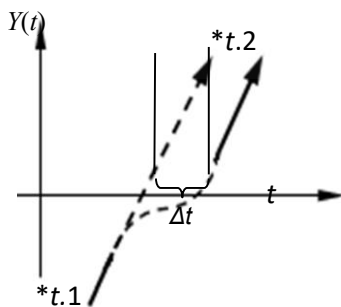


Рис.3. Динамика прохода изображающей точки области E2

Информационные каналы устройства управления

Система, рассматриваемая в работе, кроме устройства управления (УУ) включает два контролируемых элемента: привод рулей и судно. Поэтому одна из возможностей повысить безопасность движения – увеличить информационное обеспечение УУ. На рис. 4 представлены информационные каналы (IC_i) УУ.

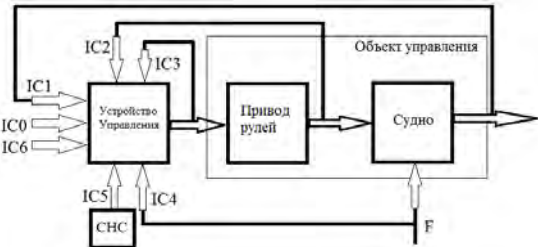


Рис.4. Информационные каналы устройства управления

Траекторию движения судна из т. А в т. В (независимо от способа управления) можно разбить на прямолинейные участки $i=1, \dots, i_{max}$.

IC₀ – информационный канал, по которому поступает следующая информация: $XY\{x_1, y_1; x_2, y_2, \dots\}$ – массив заданных географических координат судна, где x_i – широта, y_i – долгота опорных точек; $F\{\varphi_1, \varphi_2, \dots\}$ – массив заданных курсов судна на прямолинейных участках траектории; $V\{v_1, v_2, \dots\}$ – массив допустимых скоростей движения судна на каждом участке; $A\{d\alpha_1/dt, d\alpha_2/dt, \dots\}$ – массив скоростей перекадки рулей.

IC₁ – канал, по которому поступает текущая информация: текущие значения координат состояния: V, φ , угловой скорости изменения курса ω , угла дрейфа β ;

IC₂ – канал, по которому поступает текущая информация с рулевого комплекса: текущие значения угла и скорости поворота рулей – $\alpha, \alpha/dt$;

IC₄ – канал, по которому поступает информация о глубине фарватера, скорости, и направлении ветра, течения потока воды судового русла (при наличии соответствующих датчиков) – F ;

IC₅ – канал, по которому поступает информация о текущих географических координат судна для оценки его смещения от заданной траектории (ветер, течение, ...) не смотря на движение заданным курсом – массив $XYT\{xt_1, yt_1; xt_2, yt_2; \dots\}$.

IC₆ – информация о возможных максимальных значениях ΔU ; диапазона “плаванья” величины U^* ; величины областей $E, E1, E2$. Данная информация может быть получена в результате натурных испытаний конкретного проекта судна.

Информация, поступающая по каналам IC_{2, IC3}, также используется для контроля состояния привода рулей.

Отсутствие информации или её искажение в любом из каналов ведет к ошибкам формирования управления.

В 1985 году был выпущен Циркуляр № 389 комитета по безопасности мореплавания «Промежуточное руководство по оценке маневренных качеств судов при их проектировании».

Комитет был озабочен тем, что на стадии проектирования маневренным качествам судна уделяют мало внимания, что существует недостаток нормативов по маневренным характеристикам, которые необходимы для конструирования и для использования их органами, регулируемыми правилами конструкции и постройки судов. Предпосылкой разработки такого документа являлось то, что некоторые суда после их постройки обладали очень низкими маневренными качествами, что приводило к авариям и загрязнению окружающей среды. Проектировщики полагались, что действия штурманов скомпенсируют недостатки маневренных качеств, «заложённые» в это судно еще при постройке [15]. Однако суда, как показано выше, обладают особенностями, которые в сочетании с недоработками проектировщика, не могут компенсироваться действиями даже опытного судоводителя. Поэтому считать причиной аварий и катастроф – человеческий фактор не всегда обосновано. Выход из создавшейся ситуации можно найти только в полной автоматизации процесса управления и большим количеством

информационных каналов, дублируя одну и ту же информацию от разных источников”.

Заключение

Показано, что особенности динамики судна, неизвестные судоводителю, являются фактором, который влияет на безопасность плавания. С целью повышения безопасности предложено:

Разработать сценарии испытаний для оценки скрытых особенностей динамики управляемости судна при изменении внешней среды. Результаты отражать в формуляре маневренных характеристик.

Создавать такие алгоритмы управления, которые способны учитывать динамические особенности конкретного класса судов в различных условиях плавания и способны отслеживать смещение U^* и величину ΔU .

Оценивать динамические особенности на этапе проектирования с целью выбора оптимальных проектных решений для каждого класса судов и условий эксплуатации.

Литература

1. Анализ аварийности на морском и внутреннем водном транспорте в зоне ответственности Южного УГМРН Ространснадзора по итогам 2017 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://yugmrn.tu.rostransnadzor.ru>.
2. Ермолаев П.М. Состояние аварийности на морском транспорте за период с 2002 по 2008 годы. 2009. 16 с. [Электронный ресурс] URL: <http://sea.rostransnadzor.ru>.
3. Попов В.А. Безопасность на флоте: современные тенденции. [Электронный ресурс]. URL: http://rostransport.com/science_transport/pdf/32-33/26.pdf.
4. Кацман Ф.М., Ершов А.А. Аварийность морского флота и проблемы безопасности судоходства // Транспорт Российской Федерации. 2006. №5. С. 82-84
5. Маликова Т.Е. Теоретические основы и методология регулирования смещаемости грузов на морских судах: дис. ... доктор технич. наук. Владивосток, 2014. 320 с.
6. Фаустова О.Г. Разработка методики интегральной оценки и управления риском возникновения чрезвычайных ситуаций для повышения безопасности морских и мультимодальных грузоперевозок: дис. ... канд. технич. наук. Калининград, 2016. 200 с.
7. Авраменко Д. В., Касаткин И. П. Причины аварийности морских судов и повышение безопасности мореплавания // Избранные доклады Третьей Сахалинской региональной морской научно-технической конференции 15-16 февраля 2011. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2011. С. 276-279.
8. Закарьянов А. Анализ состояния безопасности на водном транспорте за 6 месяцев 2014 года. [Электронный ресурс]. URL: <https://pandia.ru/text/80/103/30105.php>
9. Сборник характерных аварийных случаев на море и внутренних водных путях, произошедших в 2016 году. [Электронный ресурс]. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/wp-content/uploads/sites/5/2015/01/Sbornik-harakternyh-h-AS.-2016.-2.pdf>.
10. Анализ состояния аварийности на море и внутренних водных путях с судами российской федерации в 2013 году. [Электронный ресурс] URL: <https://docviewer.yandex.ru/view/919813965/>
11. Маринов М.Л. Оптимизация безопасности транспортной деятельности с учетом влияния человеческого фактора: особенности решения проблемы // Транспорт Российской Федерации. 2009. №2 (21). С. 56-59
12. Чиркова М.М. Разработка методов идентификации и управления движением неустойчивого на курсе объекта со скрытыми динамическими особенностями: на примере речных водоизмещающих судов: дис. ... доктор технич. наук. Н.Новгород, 1997. 214 с.
13. Чернышов А.В. Обоснование типа алгоритма авторулевого: дис. ... канд. технич. наук. Н.Новгород, 2004. 145 с.
14. Чернышев А.В., Чиркова М.М. Статико-динамические особенности водоизмещающих судов // Известия Российской Академии Наук. Теория и системы управления. 2003 (№.4). С 153-158
15. Циркуляционное письмо MSC/Circ.1053 Пояснения к стандартам маневренных качеств судна. [Электронный ресурс]. URL: http://www.rise.odessa.ua/texts/MS_Circ1053.php3.

References

1. Analiz avariynosti na morskom i vnutrennem vodnom transporte v zone otvetstvennosti Yuzhnogo UGMRN Rostransnadzora po itogam 2017 goda. [Analysis of accidents on sea and inland water transport in the area of responsibility of the southern UGMRN Rostransnadzor at the end of 2017] [Elektronnyy resurs]. URL: <http://yugmrn.tu.rostransnadzor.ru>.

2. Yermolayev P.M. Sostoyaniye aviarnosti na morskoy transporte za period s 2002 po 2008 gody. [State of accidents on sea transport for the period from 2002 to 2008] 2009.16 c. [Elektronnyy resurs] URL: <http://sea.rostransnadzor.ru>.
3. Popov V.A. Bezopasnost' na flote: sovremennyye tendentsii. [Fleet security: current trends] [Elektronnyy resurs]. URL: http://rostransport.com/science_transport/pdf/32-33/26.pdf.
4. Katsman F.M., Yershov A.A. Aviarnost' morskogo flota i problemy bezopasnosti sudokhodstva [The accident rate of the Navy and the problems of safety of navigation] // Transport Rossiyskoy Federatsii.. 2006. №5. С. 82-84
5. Malikova T.E. Teoreticheskiye osnovy i metodologiya regulirovaniya smeshchayemosti gruzov na morskikh sudakh [Theoretical foundations and methodology of regulation of the removability of the cargo on ships]: dis. ... doktor tekhnich. nauk. Vladivostok, 2014. 320 s.
6. Faustova O.G. Razrabotka metodiki integral'noy otsenki i upravleniya riskom vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy dlya povysheniya bezopasnosti morskikh i mul'timodal'nykh gruzoperevozok [Development of a methodology for integrated assessment and management of the risk of emergencies to improve the safety of Maritime and multimodal cargo transportation]: dis. ... kand. tekhnich. nauk. Kaliningrad, 2016. 200 s.
7. Avramenko D. V., Kasatkin I. P. Prichiny aviarnosti morskikh sudov i povysheniye bezopasnosti moreplavaniya [Causes of ship accidents and improving the safety of navigation]// Izbrannyye doklady Tret'yey Sakhalinskoy regional'noy morskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii 15-16 fevralya 2011. Yuzhno-Sakhalinsk: Izd-vo SakhGU,d, 2011. S. 276-279.
8. Zakar'yanov A. Analiz sostoyaniya bezopasnosti na vodnom transporte za 6 mesyatsev 2014 goda. [Analysis of the state of water transport safety for 6 months of 2014] [Elektronnyy resurs]. URL: <https://pandia.ru/text/80/103/30105.php>
9. Sbornik kharakternykh aviarnykh sluchayev na more i vnutrennikh vodnykh putyakh, proizoshedshikh v 2016 godu [Collection of typical accidents at sea and inland waterways that occurred in 2016]. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/wp-content/uploads/sites/5/2015/01/Sbornik-harakternyh-h-AS.-2016.-2.pdf>.
10. Analiz sostoyaniya aviarnosti na more i vnutrennikh vodnykh putyakh s sudami rossiyskoy federatsii v 2013 godu [Analysis of the state of accidents at sea and inland waterways with vessels of the Russian Federation in 2013]. [Elektronnyy resurs] URL: <https://docviewer.yandex.ru/view/919813965/>
11. Marinov M.L. Optimizatsiya bezopasnosti transportnoy deyatel'nosti s uchedom vliyaniya chelovecheskogo faktora: osobennosti resheniya problemy [Optimization of transport safety taking into account the influence of the human factor: features of solving the problem] // Transport Rossiyskoy Federatsiy. 2009. №2 (21). С. 56-59
12. Chirkova M.M. Razrabotka metodov identifikatsii i upravleniya dvizheniyem neustoychivogo na kurse ob'yekta so skrytymi dinamicheskimi osobennostyami: na primere rechnykh vodoizmeshchayushchikh sudov [Development of methods for identifying and controlling the movement of an object unstable on the course with hidden dynamic features: on the example of river displacement vessels]: dis. ... doktor tekhnich. nauk. N.Novgorod, 1997. 214 s.
13. Chernyshov A.V. Obosnovaniye tipa algoritma avtorulevogo [Justification of the type of control algorithm]: dis. ... kand. tekhnich. nauk. N.Novgorod, 2004. 145 s.
14. Chernyshov A.V., Chirkova M.M.. Statiko-dinamicheskie osobennosti vodoizmeshchayushchikh sudov [Static-dynamic properties of displacement vessels] // Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Teoriya i sistemy upravleniya. 2003 (№4). S 153-158
15. Cirkulyacionnoye pis'mo MSC/Circ.1053 Poyasneniya k standartam manevrennykh kachestv sudna [Circular letter MSC / Circ. 1053 Explanation of the ship's maneuverability standards]. [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.rise.odessa.ua/texts/MSC_Circ1053.php3.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Алексей Валерьевич Соловьев, доктор технических наук, заместитель директора ФАУ Российский Речной Регистр Верхне-Волжский Филиал, 603001, г. Нижний Новгород, ул.Рождественская д. 38В,, e-mail: solovev@rivregnn.ru

Alexey V. Solovov, Dr. Sci. (Eng), associate Director of Russian River Register Upper Volga branch, Rozhdestvenskaya st., 38B, Nizhny Novgorod, 603001, Russian Federation, e-mail: solovev@rivregnn.ru

Андрей Владимирович Чернышов, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации, энергетики, математики и информационных систем, Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р.Е. Алексеева, 603095, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: andrey.chernyshov5@gmail.com

Andrey V. Chernyshov, Ph.D. (Eng), assistantprofessor of the Department of Automation, Electroenergetics, Mathematics and Information systems, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Minin St., 24, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: andrey.chernyshov5@gmail.com

Маргарита Макаровна Чиркова, доктор технических наук, профессор, Волжский Государственный Университет Водного транспорта, 603005, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: michina1942@mail.ru

Margarita M. Chirkova, Dr. Sci. (Eng), Professor, Volga State University of Water Transport, Nesterova, 5, Nizhny Novgorod, 603005, Russian Federation, e-mail: michina1942@mail.ru

Поступила в редакцию: 11.10.2020
Принята к публикации: 15.02.2021

УДК 681.5.07:007.2

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.011

Сравнительный анализ показателей эффективности автоматизированных и неавтоматизированных контейнерных терминалов

А.Л. Кузнецов¹ e-mail: thunder1950@yandex.ru, А.В. Галин¹ e-mail: galin2403@gmail.com,
В.Н. ЩербакOVA-Слюсаренко² e-mail: victorysch@mail.ru, Г.Б. Попов³ e-mail: german_bp@mail.ru
¹ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, ²Проектное Моделирование Бизнеса,
³Морское строительство и технологии

Аннотация. Автоматизация контейнерных терминалов является одним из главных глобальных трендов в развитии технологий перегрузки и хранения контейнерных грузов. Системы автоматизации, применяемые на контейнерных терминалах, могут в разной степени включать в себя функции управления контейнеропотоком, планирования работы склада терминала, грузового планирования загрузки / разгрузки судов, автоматизации работы оборудования на терминале, планирования расстановки оборудования, электронного документооборота и другие. На традиционных (неавтоматизированных) терминалах большая часть перечисленных выше задач решается с непосредственным участием человека. Это приводит к неравномерности в интенсивности погрузочно-разгрузочных работ. В данной статье приводится сравнение показателей эффективности работы автоматизированных и неавтоматизированных контейнерных терминалов. Для целей сравнительного анализа применяется методика бенчмаркинга на основе обосновано выбранных показателей работы. Наиболее значимые показатели работы включают в себя напряженность работ причального фронта, частную производительность оборудования и интенсивность использования площади. Значения этих показателей сравниваются не только между автоматизированными и неавтоматизированными контейнерными терминалами, но и с типовыми показателями, используемыми при проектировании новых терминалов. Сделаны выводы и предположения о зависимостях некоторых показателей от уровня автоматизации терминала.

Ключевые слова: контейнерные терминалы, морские порты, автоматизация терминалов, сравнительный анализ, бенчмаркинг, технологические показатели, компоновочные решения, частная производительность оборудования.

Benchmarking analysis for automated and non-automated container terminals

Aleksandr L. Kuznetsov¹ e-mail: thunder1950@yandex.ru, Aleksandr V. Galin¹ e-mail: galin2403@gmail.com,
Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko² e-mail: victorysch@mail.ru,
German B. Popov³ e-mail: german_bp@mail.ru

¹Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint-Petersburg, Russia,

²Business Project Modelling, ³Maritime Construction and Technology"

Abstract. Automatization is one of the main trends in global container handling and storage solutions. Automatization systems, applied at container terminals, may include following container flow controlling functions: storage area planning, container vessel cargo (bay) planning, cargo handling equipment, cargo handling equipment positioning, EDI (electronic document interchange), etc. Many of the functions mentioned are carried out manually at conventional non-automated container terminals. This leads to unsteadiness of cargo operation rates. This research shows the results of analytical comparison of selected KPIs (key performance indicators) of automated and non-automated container terminals. Method of benchmarking is used to compare certain KPIs. Among the most significant performance indicators are berth operations intensity, local productivity of equipment, intensity of storage area usage. These indicators are compared not only between automated and non-automated container terminals, but are also compared to typical design indicators used for drafting new terminals. A number of conclusions and suggestions about dependencies between KPIs and automatization level at container terminals is made.

Keywords: container terminals, sea ports, terminal automatization, comparison analysis, benchmarking, technological indicators, layout, local productivity of equipment.

Введение

Автоматизация контейнерных терминалов (КТ) подразумевает применение на терминале роботизированных и дистанционно-управляемых погрузочно-разгрузочных систем, наряду с переходом от ручных к автоматизированным процессам [1]. Очевидным преимуществом систем автоматизации является повышение производительности оборудования и интенсивности погрузочно-разгрузочных работ. Это достигается за счёт снижения или полного упразднения влияния человеческого фактора на показатели производительности. Применение автоматизированного оборудования исключает снижение интенсивности в начале и конце смены, во время обеденных перерывов и других

непроизводительных простоев, что обеспечивает более стабильный уровень производительности всех грузовых операций.

В мировой научной литературе имеется большое количество публикаций, в которых проводится анализ эффективности работы как отдельных контейнерных портов [2], так и портовых кластеров (например, нидерландских портов в исследовании [3], портов ассоциации государств АСЕАН [4]). Во всех работах авторы фокусируются на исследовании эффективности работы контейнерных терминалов, без разделения их на автоматизированные и традиционные. Как следствие, зависимость эффективности работы контейнерного терминала от уровня автоматизации на нем обычно остается нераскрытой. Это обуславливает актуальность проведенного в данной

статье сравнительного анализа показателей эффективности работы автоматизированных и неавтоматизированных контейнерных терминалов, позволившего выявить закономерности и характерные черты автоматизированных и неавтоматизированных КТ.

1. Методы и материалы

Сравнительный анализ в данной статье основывается на методе, описанном авторами в исследовании бенчмаркинг-показателей в технологическом проектировании контейнерных терминалов [5]. В соответствии с целью исследования, проведен бенчмаркинг показателей эффективности работы автоматизированных КТ по отношению к неавтоматизированным. Для целей анализа были сформированы две репрезентативные выборки соответственно автоматизированных и неавтоматизированных КТ.

Количество автоматизированных контейнерных терминалов в мире мало. По актуальным данным, насчитывается всего 35 терминалов по миру с разной степенью автоматизации; полностью автоматизированы из них 15 терминалов [1]. Перечень полностью автоматизированных контейнерных терминалов мира приведен в Таблица 1. Терминалы с неподтвержденными данными о системах автоматизации в перечень не включены.

Таблица 1

Перечень автоматизированных контейнерных терминалов

№	Порт	Терминал	Степень автоматизации терминала
1	Австралия, Брисбен	Patrick Terminals – Brisbane AutoStrad	Полностью автоматизированный
2	Австралия, Мельбурн	Victoria International Container Terminal	Полностью автоматизированный
3	Австралия, Сидней	Patrick Terminals – Sydney AutoStrad	Полностью автоматизированный
4	Китай, Циндао	QQCTN (Qingdao Qianwan Container Terminal)	Полностью автоматизированный
5	Китай, Шанхай	Yangshan Phase 4	Полностью автоматизированный (пробная обработка судов в конце 2017 года)
6	Китай, Сямынь	Xiamen Ocean Gate CT	Полностью автоматизированный (участок 1 функционирует; участки 2 и 3 в процессе разработки)
7	Германия, Гамбург	HNLA Container Terminal	Полностью автоматизированный

№	Порт	Терминал	Степень автоматизации терминала
		Altenwerde r	
8	Япония, Нагоя	Tobishima Container Berth Co. (Pier South Side)	Полностью автоматизированный
9	Нидерланды, Роттердам	APM Maasvlakte 2	Полностью автоматизированный
10	Нидерланды, Роттердам	Hutchinson Ports ECT Euromax	Полностью автоматизированный
11	Нидерланды, Роттердам	Hutchinson Ports ECT Delta	Полностью автоматизированный
12	США, Лос-Анджелес, Лонг-Бич	TraPac LA	Полностью автоматизированный

Грузооборот терминалов, приведенных в этой таблице, составляет от 0,5 до 5,0 млн. TEU в год. Для корректности сравнения были подобраны неавтоматизированные КТ из схожего диапазона грузооборота. В перечень неавтоматизированных контейнерных терминалов вошли терминалы, расположенные на территории РФ: АО «Петролеспорт», АО «Первый Контейнерный Терминал», ООО «Контейнерный терминал «НУТЭП», ООО «ВСК», АО «УЛКТ». Кроме них, в перечень входят контейнерные терминалы, расположенные в Европе (терминалы портов Гавр, Гданьск), США (Хьюстон), Канаде (Ванкувер), Южной Америке (Перу, Кальяо), на Багамских Островах (Фрипорт), в Панаме (Бальбоа), в Азии: во Вьетнаме (Каи Меп) и Южной Корее (Кванъян и Инчхон).

Для проведения сравнительного анализа выбраны следующие ключевые показатели эффективности работы контейнерного терминала:

1) напряженность работы причального фронта – грузооборот, TEU в год, проходящий через 1 м длины причальной стенки КТ. Определяется по формуле:

$$k_L = \frac{Q}{L} \quad (1)$$

где Q – грузооборот КТ, выраженный в TEU в год;

L – длина причальной стенки, м.

2) частная производительность оборудования – грузооборот, TEU в год, приходящийся на 1 ед. оборудования КТ. Определяется отдельно для оборудования морского грузового фронта (причальных перегружателей STS), складского оборудования (складских перегружателей на пневмоколесном ходу RTG, на рельсовом ходу RMG, автоматизированных складских перегружателей ASC) и для оборудования, необходимого для перемещения контейнеров по терминалу (автоматизированных тележек AGV, терминальных тягачей / трейлеров ТТ, автоконтейнеровозов SC). Некоторое оборудование (например автоконтейнеровозы SC) могут быть использованы одновременно для перемещения контейнеров по терминалу и для организации

грузовых работ на складских площадках КТ. Значение показателя определяется по формуле:

$$k_i = \frac{Q}{n_i} \quad (2)$$

где i – тип рассматриваемого оборудования (STS, RMG, RTG, ASC, ТТ, AGV и т.д.). Для упрощения показатель k для складских перегружателей обозначается как $k_{скл.пер.}$ для любых типов перегружателей;

n_i – количество оборудования рассматриваемого типа.

3) интенсивность использования площади – грузооборот, TEU в год, приходящийся на 1 га складской площади терминала. Определяется по формуле:

$$k_s = \frac{Q}{S} \quad (3)$$

где S – площадь, занимаемая складскими площадками терминала с учетом проездов для технологического транспорта.

4) вспомогательные количественные и качественные показатели: колея перегружателей STS, колея складских перегружателей, ширина причальной зоны терминала (расстояние от линии кордона причала до ближайшего подкранового пути складских перегружателей, либо до ближайшего складского штабеля), способ расположения контейнерных штабелей по отношению к линии кордон причальной стенки.

Данные по автоматизированным и неавтоматизированным контейнерным терминалам были собраны из открытых источников: по научным публикациям [6], с официальных сайтов операторов и портовых властей [7], из справочников и сборников статистических исследований [8], а также по официальной информации государственных органов власти [9], собственных исследований авторов. Данные, не подтверждающиеся официальными источниками или операторами контейнерных терминалов, не принимались к рассмотрению. Информация по некоторым видам оборудования (в особенности, количество AGV и ТТ) доступна не по всем терминалам, либо не подтверждается в официальных открытых источниках. В связи с этим выборки данных, используемых для определения показателей k_{AGV} , k_{TT} , k_{RTG} , k_{ASC} , k_{RMG} , k_S меньше выборок данных по показателям k_{STS} и k_L .

2. Результаты

Информация, собранная по автоматизированным и неавтоматизированным КТ, была проанализирована при помощи стандартных методов математической статистики. Результаты анализа были сравнены между автоматизированными и неавтоматизированными КТ. Дополнительно результаты были сравнены с общемировыми типовыми проектными показателями по данным исследования [10]. Типовые проектные показатели приведены в Таблица 2.

Таблица 2

Типовые проектные показатели КТ по данным [10]

Показ-ль	Типовое проектное значение показателя	Среднеотраслевой уровень показателя по данным на 2016 г.	Комментарий
Напряженность работы причального фронта (TEU в год на 1 м длины причальной стенки)	1 500	1 154	Обычно значение данного показателя при проектировании закладывается на уровне от 800 до 1700 TEU через 1 м причальной стенки в год.
Частная производительность STS (TEU на 1 перегружатель STS в год)	200 000	127 167	Уровень данного показателя зависит от TEU-фактора, типа грузопотока (импорт, экспорт, транзит) и доли работ, производимых твин-и тандем-подъемами.
Интенсивность использования площади (TEU на 1 га складской площади в год)	40 000	26 366	Уровень типового показателя в существенной мере зависит от вида оборудования, используемого на складе, и срока хранения.

На Рис.2 проиллюстрировано сравнение показателя k_L для автоматизированных и неавтоматизированных контейнерных терминалов. Видно, что средний уровень этого показателя для автоматизированных КТ примерно на 41% выше, чем для неавтоматизированных КТ. При сравнении k_L с типовыми значениями из, видно, что средний уровень этого показателя для

неавтоматизированных КТ соответствует среднему уровню по всем КТ мира за 2016 г., что подтверждает адекватность анализируемых данных. При этом, средний уровень k_L для автоматизированных КТ примерно соответствует типовому уровню этого показателя, закладываемому при проектировании и реконструкции КТ.

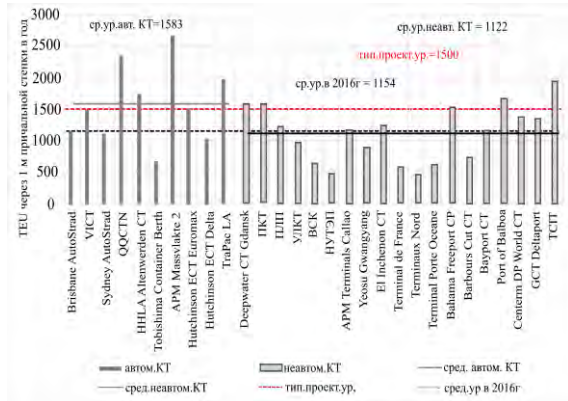


Рис.2 — Сравнение значений показателя k_L для автоматизированных и неавтоматизированных КТ

Результаты анализа показателей k_{STS} , $k_{скл.пер.}$, $k_{ТТ}$ приведены в Таблица 3. Все значения приведены в TEU в год на 1 ед. перегрузочного оборудования.

Таблица 3

Результаты анализа показателей k_{STS} ,

$k_{скл.пер.}$ и $k_{ТТ}$

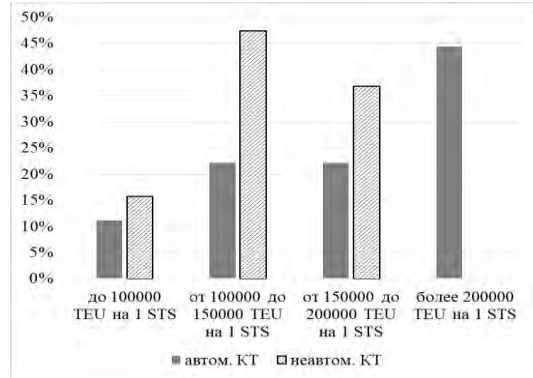
Показатель	Автоматизированные КТ			Неавтоматизированные КТ		
	мин.	макс.	сред.	мин.	макс.	сред.
k_{STS} , TEU на 1 STS	82 167	275 325	177 346	71 403	178 571	135 855
$k_{скл.пер.}$, TEU на 1 ед. складской техники	20 542	50 185	40 358	32 258	83 333	53 662
$k_{ТТ}$, TEU на 1 ТТ (или AGV)	14 939	26 374	20 443	24 454	56 818	39 378

Как видно из этой таблицы показатель k_{STS} автоматизированных КТ в среднем на 30,5% выше, чем для неавтоматизированных КТ. При этом максимальный уровень этого показателя неавтоматизированных КТ примерно соответствует среднему уровню автоматизированных КТ. Как и в случае с показателем k_L , средний уровень показателя k_{STS} для автоматизированных терминалов стремится к типовому проектному показателю по Таблица 2, а средний уровень этого показателя для неавтоматизированных терминалов ближе к среднеотраслевому показателю за 2016 г.

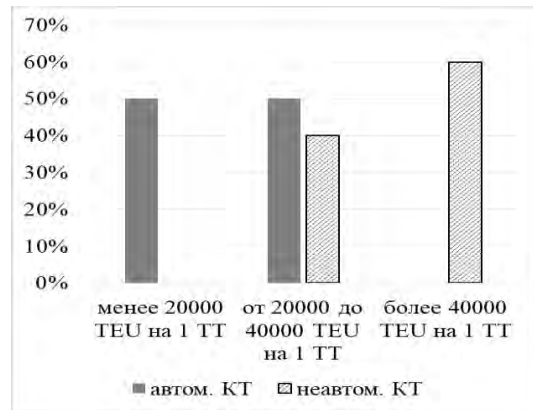
Аналогичные показатели для складского оборудования и терминальных тягачей ниже на

автоматизированных КТ (на 33% и 93% соответственно) по сравнению с неавтоматизированными КТ. Предполагаемое объяснение разницы этих показателей приведено в разделе обсуждения результатов.

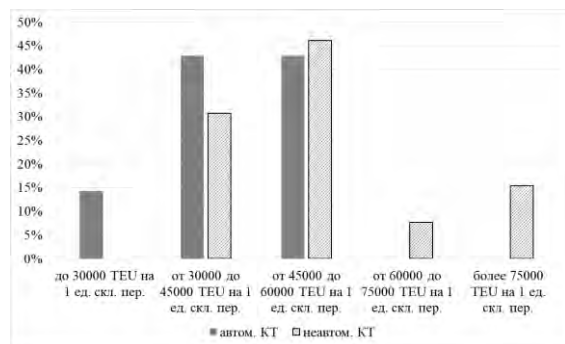
На Рис.3 показаны гистограммы показателей k_{STS} , $k_{скл.пер.}$ и $k_{ТТ}$. Гистограммы показывают процентное соотношение количества терминалов с разным уровнем каждого показателя.



а)



б)



в)

Рис.3 – Гистограммы распределения показателей в TEU в год на 1 ед. оборудования для показателя k_{STS} (а), показателя $k_{ТТ}$ (б), показателя $k_{скл.пер.}$ (в).

Между автоматизированными и неавтоматизированными КТ существует различие складского оборудования. На большинстве автоматизированных КТ (70%) применяются

автоматические складские перегружатели на рельсовом ходу (ASC), в то время как их неавтоматизированный аналог, перегружатели RMG, – применяются только на 11% неавтоматизированных КТ. Напротив, основным складским оборудованием, применяемым на большинстве неавтоматизированных КТ (50%) являются перегружатели на пневмоколесном ходу RTG. Этот тип перегружателей в чистом виде на автоматизированных КТ не применяется, и лишь на 10% из них применяется совместно с перегружателями ASC. Также на 20% автоматизированных КТ и примерно на 6% неавтоматизированных КТ применяются автоконтейнеровозы (SC) в качестве основного складского оборудования.

На автоматизированных КТ на 1 ед. причальных перегружателей STS в среднем приходится 4,3 складских перегружателей и 6,4 автоматизированных тележек AGV. На неавтоматизированных КТ на 1 ед. причальных перегружателей STS в среднем приходится 2,9 складских перегружателей и 4,3 терминальных тягача ТТ. Необходимо отметить, что эти показатели могут существенно зависеть от характеристик перегрузочного оборудования, используемого на складских площадках терминала.

Наиболее часто встречающиеся размеры колеи причальных перегружателей STS для автоматизированных и неавтоматизированных КТ совпадают. На 44% автоматизированных и на 53% неавтоматизированных КТ размер колеи перегружателей STS составляет 30,5 м. Однако для неавтоматизированных КТ также характерно использование STS с колеёй 15,3 м. Такие перегружатели отсутствуют на исследованных автоматизированных КТ (см. Рис. 4).

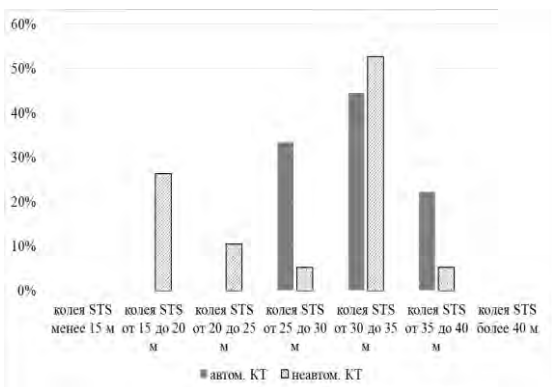


Рис. 4 – Гистограмма распределения величины размера колеи причальных перегружателей STS

Среднее значение показателя k_s составляет 24 172 TEU в год на 1 га складской площади автоматизированных КТ и 21 425 TEU в год на 1 га складской площади неавтоматизированных КТ. Эти показатели близки друг к другу, а также к среднему мировому показателю за 2016 г.

В рамках исследования были также проанализированы типовые компоновочные решения для автоматизированных и

неавтоматизированных контейнерных терминалов. На Рис.5 показаны значения ширины причальной зоны КТ. Средняя ширина причальной зоны автоматизированных КТ составляет 96 м, среднеквадратическое отклонение – 23 м. Средняя ширина причальной зоны неавтоматизированных КТ составляет 63 м, среднеквадратическое отклонение – 16 м.

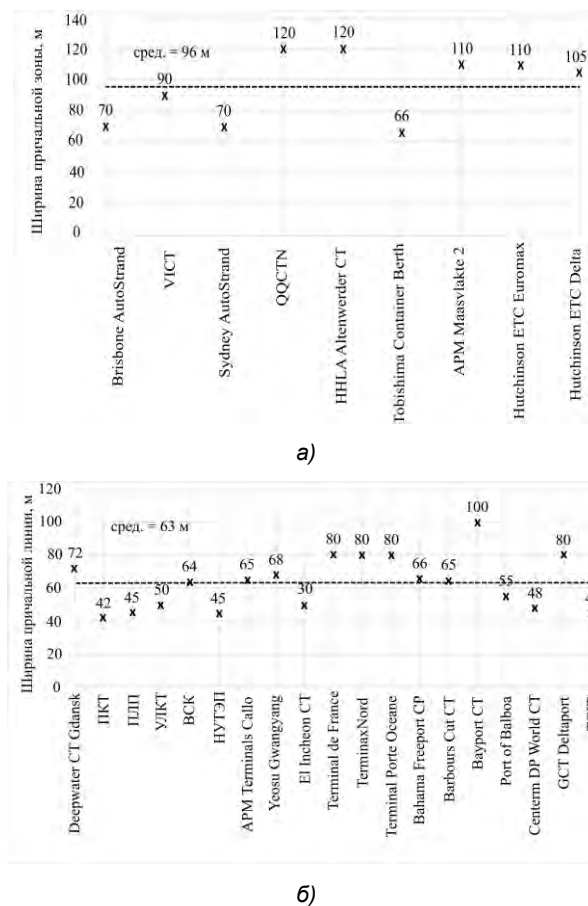
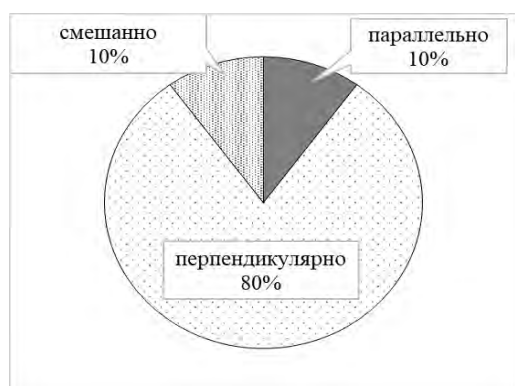
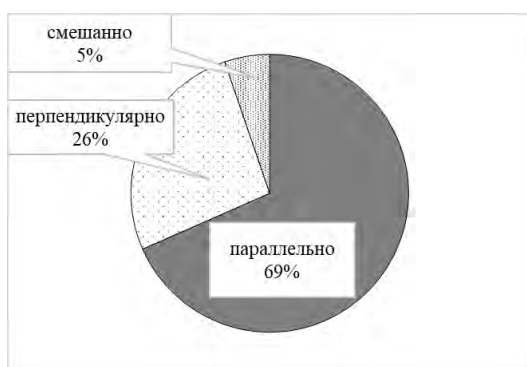


Рис. 5 – Ширина причальной зоны автоматизированных (а) и неавтоматизированных (б) КТ.

При анализе принимался во внимание способ расположения контейнерных штабелей относительно линии кордона причала. Контейнерные штабели могут располагаться параллельно или перпендикулярно линии кордона причальной стенки. На некоторых терминалах используется смешанное расположение штабелей, когда в одной зоне хранения расположение штабелей параллельное, а в другой – перпендикулярное. На большинстве автоматизированных КТ (80%) штабели располагаются перпендикулярно линии кордона причалов. На большинстве неавтоматизированных терминалов (69%) штабели располагаются параллельно линии кордона причалов (см. Рис.6).



а)



б)

Рис.6 – Расположение штабелей относительно линии кордона для автоматизированных (а) и неавтоматизированных (б) КТ.

3. Обсуждение

По полученным результатам сравнительного анализа автоматизированных и неавтоматизированных КТ был выдвинут ряд предположений и возможных интерпретаций, описанных ниже.

Среднее значение k_L для автоматизированных КТ, который находится примерно на одном уровне с типовым проектным показателем, отражает более эффективное использование мощностей морского грузового фронта терминала при использовании систем автоматизации.

На большинстве неавтоматизированных КТ (47%) уровень показателя k_{STS} составляет от 100 000 до 150 000 TEU в год на 1 ед. STS. Этот же показатель для большинства автоматизированных терминалов (50%) составляет от 200 000 TEU на 1 ед. STS и выше (Рис.3). Предположительно это связано с заданным высоким уровнем обслуживания (высокой скоростью обработки судов у причала, отсутствием очередей на рейде) судов на морском грузовом фронте автоматизированных терминалов, что позиционируется такими терминалами как конкурентное преимущество. На автоматизированных КТ поддерживается принцип обеспечения максимальной занятости морского грузового фронта. Остальное технологическое оборудование (обычно это ASC и AGV) размещаются на терминале в количестве, достаточном для

обеспечения бесперебойной работы STS. Другими словами, на таких терминалах действует принцип «перегрузатель STS не должен ждать другое оборудование». В то же время, на неавтоматизированных КТ традиционно планируется более сбалансированная нагрузка на оборудование всех грузовых фронтов и внутривортовой транспортировки. На один причальный перегрузатель STS приходится меньшее количество складских перегрузателей и терминальных тягачей, чем на автоматизированных КТ.

Причалные перегрузатели с колеёй менее 25 м отсутствуют на исследованных автоматизированных КТ (см. Рис.4). Это может быть связано с большей распространенностью подъемов по два 20-футовых контейнера (твин-лифт) и подъемов по два 40-футовых контейнера (тандем-лифт), а также подъемов по четыре 20-футовых контейнера (квад-лифт) на автоматизированных КТ. Погрузо-разгрузочные операции по несколько контейнеров в одном подъеме ускоряют обработку судов на МГФ терминала. Однако совершение таких грузовых операций требует специального оборудования: телескопических спредеров, работающих в спарке на одном хэд-блоке. Квад-лифты (4 по 20') особенно сложны с технической точки зрения, поскольку требуют от перегрузателя высокой грузоподъемности (от 80 т) на больших вылетах. Перегрузатель, способный на такие операции должен иметь достаточный уравновешивающий момент, для чего его колея должна быть больше, чем у перегрузателей с меньшей грузоподъемностью. Общий вес таких перегрузателей может достигать значений, требующих полной реконструкции причала.

Сама возможность и эффективность использования систем с множественным подъемом обуславливается положением терминала в глобальных цепях поставки. При погрузке и выгрузке полных грузовых партий в концевых пунктах маршрутов эти решения эффективны, при погрузке / выгрузке в промежуточных портах выборка части контейнеров исключает подобные решения.

Характерность перпендикулярного расположения складских штабелей для автоматизированных КТ и нехарактерность такого расположения для неавтоматизированных КТ (см. Рис.6), предположительно связана с особенностью организации работы складских площадок автоматизированных КТ. Автомобильный грузовой фронт таких терминалов располагается в тыловых торцевых зонах складских штабелей. Автоматические складские перегрузатели ASC могут производить погрузо-разгрузочные работы с автомобильным транспортом без участия человека. Однако это требует более точного позиционирования автомобилей и терминальных тягачей. Для этого в торцевых зонах складских штабелей наносится специальная разметка и сооружаются направляющие и отбойные устройства. Контейнер поступает на терминал автомобильным транспортом, выгружается в тыловом торце складского штабеля, а выдается для погрузки на судно с другой стороны штабеля. На неавтоматизированных КТ с использованием перегрузателей RTG или RMG преобладает другая схема компоновки терминала, при которой грузовой

автомобиль может быть обслужен в любом месте в проезде вдоль складского штабеля.

Как видно из Рис.5, ширина причальной зоны для автоматизированных КТ в среднем на 52,4% больше, чем для неавтоматизированных КТ. Такая разница объясняется наличием большего количества проездов для автоматизированных тележек (AGV) в причальной зоне. Для бесперебойной работы систем автоматизации перемещений тележек AGV необходимо достаточное пространство с запасом для маневрирования техники. На автоматизированных КТ в причальной зоне, помимо зоны для люковых крышек судов и проездов, зачастую размещается также зона для стоянки тележек AGV. При перпендикулярном расположении склада на автоматизированных КТ, необходимо также предусмотреть место в торцах штабелей для погрузки / разгрузки тележек, что увеличивает ширину причальной зоны. На неавтоматизированных КТ ширина причальной зоны может быть меньше за счет параллельного расположения штабелей по отношению к линии кордона, выделения тыловых зон отстоя техники и постоянного участия человека в маневровых операциях терминальных тягачей.

Заключение

На основании изложенного выше сделаны следующие выводы:

1. Проведен сравнительный анализ показателей эффективности работы автоматизированных и неавтоматизированных контейнерных терминалов. Среди сравниваемых показателей (бенчмарков) присутствуют как количественные, так и качественные показатели. Последние отражают те или иные компоновочные решения, принятые на контейнерном терминале.
2. Выявлено, что показатели работы морского грузового фронта автоматизированных КТ выше, чем аналогичные показатели неавтоматизированных КТ. Это говорит о большом внимании, уделяемом

эффективности работы МГФ на автоматизированных КТ. При этом показатели эффективности работы тыловых складских зон автоматизированных КТ примерно одинаковы (бенчмарк по площади) или ниже (бенчмарк по грузообороту на единицу складской техники и ТТ), чем для неавтоматизированных КТ. Выдвигается предположение о том, что это связано с ориентированностью тылового оборудования автоматизированных КТ на поддержание бесперебойного уровня интенсивности перегрузочных работ на МГФ терминала.

3. Определены характерные компоновочные решения для автоматизированных и неавтоматизированных КТ: наиболее распространенная колея причальных перегружателей, способ размещения складских штабелей по отношению к линии кордона причальной стенки, типичная ширина причальной зоны (от линии кордона до первого складского штабеля или первого подкранового пути складского перегружателя).

4. Общее мнение специалистов состоит в том, что автоматизированные КТ наиболее перспективны в высокоразвитых промышленных странах с высоким уровнем оплаты квалифицированного труда, заменяемого автоматическими решениями, или в развивающихся странах с недостатком квалифицированной рабочей силы, где ее дешевизна не оправдывает потерь, связанных с качеством выполнения операций.

5. Еще одной особенностью является меньшая по сравнению с ожиданиями экономика фонда оплаты труда, поскольку стивидорный персонал со средней тарифной ставкой заменяется штатом специалистов по ИТ с гораздо более высоким окладом.

6. Наконец, отладка операционных процессов и сопутствующих цифровых технологий требует значительного времени (до нескольких лет), в течение которого терминал может работать с задержками, сбоями и провалами в производительности.

Литература

1. UNCTAD Review of Maritime Transport 2018 // United Nations publication. — 2018. — 116 p. ISBN 978-92-1-112928-1.
2. Petrić A. Benchmarking Analysis of Factors Influencing Container Traffic in the Port of Rijeka / A. Petrić, N. Pavletić // Scientific Journal of Maritime Research. — 2019. — Vol. 33. — Is. 2. — Pp. 119–129. 10.31217/p.33.2.1.
3. Wiegmans B. Benchmarking deep-sea port performance in the Hamburg-Le Havre range / B. Wiegmans, S. Dekker // Benchmarking: An International Journal. — 2016. — Vol. 23. — Is. 1. — Pp. 96–112. DOI: 10.1108/BIJ-04-2013-0050.
4. Kutin N. Relative efficiencies of ASEAN container ports based on data envelopment analysis / N. Kutin, T. T. Nguyen, T. Vallée // The Asian Journal of Shipping and Logistics. — 2017. — Vol. 33. — Is. 2. — Pp. 67–77.
5. Кузнецов А. Л. Бенчмаркинг-показатели в технологическом проектировании контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 1. — С. 7–19. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-7-19.
6. Galvao C. B. Being left at the altar: A content analysis of the Ports of Houston and Galveston merger case that never happened / C. B. Galvao, A. Gharehgozli, J. Mileski // Research in transportation business & management. — 2018. — Vol. 26. — Pp. 34–44.
7. Порт Гданьск: официальный сайт. — URL: <https://www.portgdansk.pl/about-port/dct-gdansk> (дата обращения 12.12.2020). — Текст: электронный.
8. Lloyd's List. One Hundred Ports 2019 / Informa UK Ltd. — London: Informa UK, 2019. — 128 p.
9. Приложение к распоряжению Росморречфлота от 19.11.2020 №ЗД-551-р. — Доступ через официальный сайт Росморречфлота. — URL: http://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya_deyatelnosti/portyi_rf/reestr_mp/portyi_chernogo_morya/f2253.html (дата обращения 17.12.2020). — Текст: электронный.

10. Ports and Terminals Insight / Drewry Maritime Research. Ports and Terminals Insight. — 2017. — Vol. 4. — URL: <https://www.drewry.co.uk/maritime-research-products/maritime-research-products/ports-and-terminals-insight-annual-subscription> (дата обращения 15.12.2020). — Текст: электронный.

References

1. "Review of Maritime Transport 2018." *UNCTAD. United Nations publication* (2018): 116 p. ISBN 978-92-1-112928-1.
2. Petrić A., N. Pavletić. "Benchmarking Analysis of Factors Influencing Container Traffic in the Port of Rijeka." *Scientific Journal of Maritime Research* 33.2 (2019): 119–129. 10.31217/p.33.2.1.
3. Wiegmans B., S. Dekker. "Benchmarking deep-sea port performance in the Hamburg-Le Havre range." *Benchmarking: An International Journal* 23.1 (2016): 96–112. DOI: 10.1108/BIJ-04-2013-0050.
4. Kutin N., T. T. Nguyen and T. Vallée. "Relative efficiencies of ASEAN container ports based on data envelopment analysis." *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 33.2 (2017): 67–77.
5. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko and Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko. Benchmarkingovyе pokazateli v tehnologicheskome proektirovanii konteynernyh terminalov ["Benchmarking indicators in technological design of container terminals."] *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.1 (2018): 7–9. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-7-19.
6. Galvao C. B., A. Gharehgozli, J. Mileski. "Being left at the altar: A content analysis of the Ports of Houston and Galveston merger case that never happened" *Research in transportation business & management* 26 (2018): 34–44.
7. "Deepwater Container Terminal Gdansk." *Port Gdansk*, 12.12.2020. <https://www.portgdansk.pl/about-port/dct-gdansk>.
8. *Lloyd's List. One Hundred Ports 2019*. London: Informa UK Ltd., 2019.
9. Appendix to order of Rosmorrechflot of 19.11.2020 No. ZD-551-r. *Rosmorrechflot official site*, 17.12.2020. URL: http://morflot.gov.ru/deyatelnost/napravleniya_deyatelnosti/portyi_rf/reestr_mp/portyi_chernogo_morya/f2253.html
10. *Ports and Terminals Insight*. Drewry Maritime Research. Ports and Terminals Insight 4, 2017.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Александр Львович Кузнецов, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Портов и грузовых терминалов, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: thunder1950@yandex.ru

Александр Валентинович Галин, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Управления транспортными системами, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: galin2403@gmail.com

Виктория Николаевна Щербакова-Слюсаренко, кандидат технических наук, заместитель генерального директора ООО «Проектное Моделирование Бизнеса», 115114, Российская Федерация, г. Москва, ул. Летниковская, д. 10, стр. 1, e-mail: victorysch@mail.ru

Герман Борисович Попов, инженер отдела технологии ООО «Морское строительство и технологии» 195220, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Гжатская, 21 к. 2, Лит. А, e-mail: german_bp@mail.ru

Aleksandr L. Kuznetsov, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Ports and Terminals Department, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, 198035, Russian Federation, e-mail: thunder1950@yandex.ru

Aleksandr V. Galin, Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Transport Systems Management Department, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, 198035, Russian Federation, e-mail: galin2403@gmail.com

Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko, Ph.D. (Eng), Deputy CEO, "Business Project Modelling" LLC, 10/1, Letnikovskaya str., Moscow, 115114, Russian Federation, e-mail: victorysch@mail.ru

German B. Popov, technology department engineer "Morstroytechnology" LLC, 21/2 Gzhatskaya str., St. Petersburg, 195220, Russian Federation e-mail: german_bp@mail.ru

Поступила в редакцию: 15.11.2020

Принята к публикации: 12.02.2021

УДК 699.816, 614.842/847

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.012

Обоснование инновационного способа тушения пожара на объектах инфраструктуры в условиях низких температур

А.А. Таранцев^{1,2} e-mail: info@iptran.ru, А.Д. Ищенко³ e-mail: adinko@mail.ru,
А.А. Таранцев³ e-mail: dask_cradle@mail.ru

¹Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России,

²Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук, ³Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

Аннотация. Рассмотрена проблема обеспечения пожарной безопасности объектов в Арктической зоне и районах Крайнего Севера, в частности, инфраструктуры Северного морского пути. Показано, что ввиду высокого риска возникновения пожаров на таких объектах и сложности их тушения из-за сложности использования воды при экстремально низких температурах, целесообразно использовать инновационные способы тушения. Такой способ, заключающийся в продувке горящего объёма низкотемпературным наружным воздухом (с дополнительной подачей ограниченного количества снега и распылённой воды в летний период), был запатентован и обоснован теоретически и посредством проведения компьютерного эксперимента. Для подтверждения эффективности способа были проведены эксперименты – сначала демонстрационный по подавлению горения очага путём продува прибором «Буря» ДПЭ-15 при температуре 0⁰С, а затем модельный с подачей холодного воздуха с последующим добавлением распылённой воды и снега. В ходе эксперимента, проводимого на базе подразделения Государственной противопожарной службы был собран цилиндрический имитатор модуля (1:5) и осуществлялась видеорегистрация процесса подавления горения в имитаторе с фиксацией температурных полей тепловизором. Была доказана возможность безопасного проникновения пожарных в модуль со стороны подачи воздуха и их действий по тушению остаточных очагов, а также возможность полного подавления пожара при подаче ограниченного количества снега и распылённой воды в воздушную струю. В результате была не только теоретически, но и экспериментально обоснована возможность применения инновационного способа подавления пожара в модулях арктических объектов.

Ключевые слова: низкие температуры, пожар, теплоизолированный модуль, подавление пожара, продувка объёма, компьютерное моделирование, эксперимент

On the justification of an innovative method of extinguishing a fire at infrastructure facilities in low temperature conditions

Alexandr A. Tarantsev^{1,2} e-mail: info@iptran.ru, Andrey D. Ishchenko³ e-mail: adinko@mail.ru,
Andrey A. Tarantsev³ e-mail: dask_cradle@mail.ru

¹Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia,

²Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science,

³Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract. The problem of ensuring fire safety of objects in the Arctic zone and the Far North, in particular, the infrastructure of the Northern Sea Route, is considered. It is shown that due to the high risk of fires at such facilities and the complexity of their extinguishing due to the complexity of using water at extremely low temperatures, it is advisable to use innovative methods of extinguishing. This method, which consists in purging the burning volume with low-temperature outdoor air (with an additional supply of a limited amount of snow and sprayed water in the summer), was patented and justified theoretically and through a computer experiment. To confirm the effectiveness of the method, experiments were conducted – first a demonstration one on suppression of burning by blowing the DPE-15 device with the Buran device at a temperature of 00C, and then a model one with cold air supply followed by the addition of sprayed water and snow. During the experiment, conducted on the basis of the State Fire Service division, a cylindrical simulator of the module (1:5) was assembled and video recording of the suppression process was carried out in the simulator with the thermal imager recording the temperature fields. The possibility of safe penetration of firefighters into the module from the air supply side and their actions to extinguish residual foci, as well as the possibility of complete suppression of the fire when a limited amount of snow and sprayed water is supplied to the air stream, was proved. As a result, the possibility of using an innovative method of fire suppression in the modules of Arctic objects was not only theoretically, but also experimentally justified.

Keywords: low temperatures, fire, thermally insulated module, fire suppression, volume blowing, computer simulation, experiment

Введение

Одной из важных задач нашей страны на настоящем этапе является развитие Арктической зоны (АЗ) [1-4] и районов Крайнего Севера (КС). Это обусловлено, во-первых, экономическими интересами [5] ввиду больших запасов природных богатств в АЗ и на КС, а также пролеганием Северного морского пути (СМП) [6, 7] (рис.1) в морях Северного ледовитого океана, во-вторых,

необходимостью защиты наших интересов в АЗ и на КС [8-10]. Указанные обстоятельства приводят к необходимости развития инфраструктуры в АЗ и на КС (в т.ч. СМП)

1. Проблема тушения пожаров в условиях низких температур

Ввиду жёстких климатических условий АЗ (экстремально низкие температуры, ветра, снежные заносы, нелётные погоды), удалённости от

населённых пунктов и арктических спасательных центров (АСЦ) МЧС, объекты в АЗ, как правило, строятся по модульному принципу (рис.2) [11].

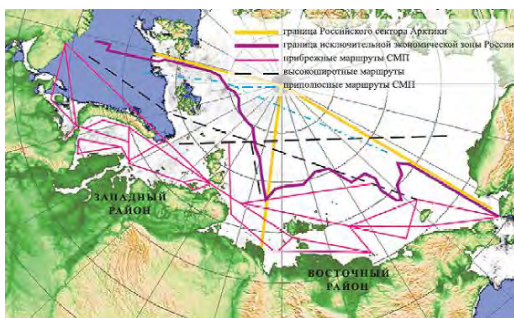
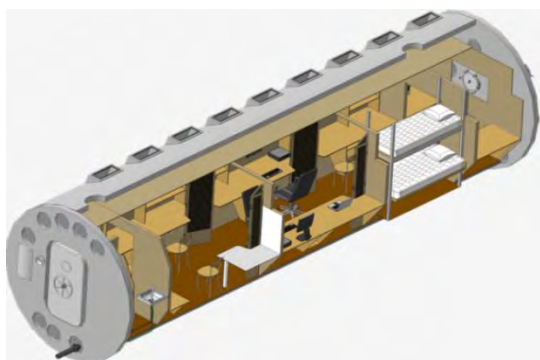


Рис.1. Трассы Северного морского пути



а



б

Рис.2. Модульные объекты в АЗ (а) и вид модуля типа ЦУБ (б)

При этом объекты имеют высокую степень автономности, а их модули (складские, жилые, служебные, дизельгенераторные и др.) обладают высокой энергонасыщенностью (отношение обрабатываемой мощности к объёму) по сравнению с аналогичными зданиями и помещениями в умеренном климате.

Высокая энергонасыщенность арктических модулей порождает проблему их повышенной пожароопасности (табл.1), тогда как тушение пожаров в условиях экстремально низких температур представляет большую трудность (рис.3) по причине сложности использования воды [12].

Для решения проблемы тушения пожаров в арктических модулях был предложен и запатентован инновационный способ [13], предусматривающий продувку горящего объёма наружным низкотемпературным воздухом. В работах [14-18] дано обоснование применения способа на основе закона С.Аррениуса, номограммы Н.Семёнова и

результатов компьютерного эксперимента с использованием полевой модели пожара.

Таблица 1.

Данные об аварийности на объектах в АЗ России

Аварии и ЧС	В процентном соотношении
Обрушения и пожары жилых и административных зданий	21% — 39%
Взрывы и пожары технологического оборудования	18% — 39%
Транспортные аварии	25% — 32%
Аварии на коммунальных сетях и системах жизнеобеспечения	7% — 15%
Аварии с выбросом токсичных веществ и АХОВ	8% — 12%
Аварии на трубопроводах	4% — 8%



а



б

Рис.3. Сложность тушения пожаров в условиях низких температур (а – работа пожарной техники, б – пожарный при -30°С)

Вышеуказанный способ [13] и реализующее его устройство обладают преимуществами, заключающимися в конструктивной простоте и малой инерционности, неограниченности ресурса холодного воздуха, сберегающем тушении (электрооборудование модуля не подвергается воздействию воды и порошковых ингибиторов) и безопасности работы пожарных.

Это меняет и тактику тушения [19], позволяя совместить действия пожарных с работой системы продувки. Пожарные, проникнув в модуль, не подвергнутся воздействию высокой температуры и токсичных продуктов горения и могут ликвидировать остаточные небольшие очаги огнетушителями. Кроме того, ограниченная подача снега и распылённой воды (в летнее время) в воздушную струю от вентилятора позволяет за счёт испарения ещё более повысить эффективность тушения пожара в модуле.

2. Эксперимент по подтверждению эффекта инновационного способа подавления пожара

Тем не менее, в ходе обсуждения возможностей такого способа тушения возникла дискуссия о его применимости на практике. В этой связи зимой 2019 г. на территории Академии ГПС МЧС России был проведён небольшой демонстрационный эксперимент при температуре, близкой к 0°С. Очаг возгорания (древесина, политая бензином) был потушен за несколько секунд (рис.4) даже в отсутствие низкой температуры воздуха.

В развитие подтверждения эффективности такого способа тушения был проведён модельный эксперимент, когда модуль типа ЦУБ в масштабе 1:5 имитировался тонкостенной цилиндрической конструкцией в виде трубы с пожарной нагрузкой и дымососом-вентилятором (рис.5) типа ДПГ-10 производительностью 10 тыс.м³/час, включаемого на нагнетание.



Рис.4. Демонстрационный эксперимент по тушению пожара комбинированного класса А+В (древесина, политая бензином) продувкой окружающим воздухом прибором «Буран» ДПЗ-15 при температуре 0°С проводит один из авторов статьи (а – возгорание; б – начало продувки; в – процесс подавления горения; г – завершение процесса).

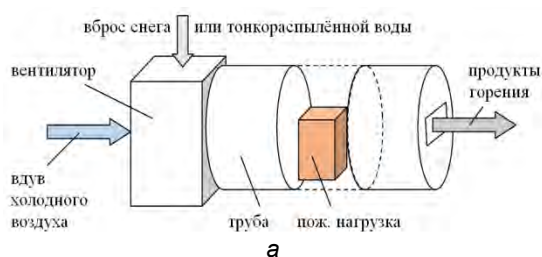


Рис.5. Схема экспериментальной установки (а) и подготовка макета к работе (б)

Испытания проводились в два этапа 28.01.2021 г. и 09.02.2021 г. на базе 17 СПСЧ 18 ОФПС с участием 4 специалистов. В ходе испытаний проводилась видеосъемка, температурный режим фиксировался пожарным тепловизором «Питон ТП-001» (рис.6).



Рис.6. Регистрация температуры со стороны торца макета

В ходе 1-го этапа проводилась продувка макета с пожарной нагрузкой (~5 кг древесины, политой

бензином) при температуре -2°С, в ходе 2-го этапа проводились три продувки: а) наружным воздухом (-13°С, влажность 86%); б) продувка с впрыском распыленной воды ~0,5 л/с в струю воздуха; в) продувка с подачей снега ~10 см³/с.

3. Обсуждение результатов

По результатам проведения испытаний установлено следующее.

1. При свободном развитии горения пожарной нагрузки температура в макете достигала 400°С.

2. При продувке наружным воздухом часть объема макета от вентилятора до пожарной нагрузки полностью очищалась от продуктов горения, температура там падала практически до наружной. Однако с обратной стороны пожарной нагрузки наблюдалось горение пламенное и в режиме тления (рис.6). Тем не менее, температурный режим в модуле при продувке (рис.7) позволяет пожарным проникнуть внутрь со стороны вентилятора и осуществить дотушивание очагов огнетушителями даже без применения средств защиты органов дыхания и зрения.

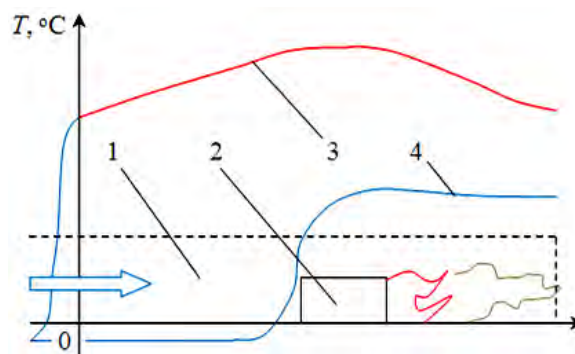


Рис.7. Температурные профили в модуле при продувке наружным воздухом (1 – модуль, 2 – пожарная нагрузка, 3 – температура до продувки, 4 – температура при продувке)

3. При продувке с дозированной подачей воды или снега достигнута ещё большая эффективность тушения за счёт отбора тепла парообразованием. Горение полностью прекратилось, температура

снизилась по всему модулю (рис.8), на выходе наблюдался пар.

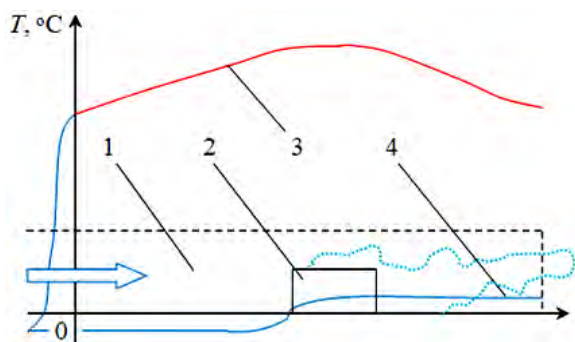


Рис.8. Температурные профили в модуле при продувке наружным воздухом с подачей воды или снега (обозначения как на рис.7)

При этом варианте продувки важно соблюдать особый режим подачи снега или воды, чтобы обеспечить их полное испарение во избежание последующего замерзания остатков влаги в модуле. Также достигается полная безопасность работы пожарных и обеспечивается минимальное повреждение модуля, что даёт возможность его скорейшего восстановления.

Заключение

Таким образом, экспериментально доказана эффективность инновационного способа подавления пожара в арктических модулях (в т.ч. входящих в состав инфраструктуры СМП) путём продувки горящего объёма низкотемпературным наружным воздухом. Показано, что эффект тушения возрастает ещё больше при подаче снега или распылённой воды в подаваемую внутрь воздушную струю.

Поскольку такой способ подавления пожара в арктическом модуле прост и эффективен, а реализующее его устройство не требует больших финансовых затрат, позволяет оперативно оборудовать им действующие модули и обеспечивает безопасную работу пожарных, имеется надежда на скорейшее внедрение способа в интересах обеспечения пожарной безопасности объектов в АЗ и на КС.

Так как описанный эксперимент имел целью продемонстрировать вышеуказанный эффект подавления пожара в модуле, в дальнейшем с учётом полученного опыта желательно провести исследования в части оценки количественных характеристик и их сопоставления с компьютерными расчётами.

Литература

1. Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2035 года. – Утверждены Президентом РФ 05.03.2020, № 164.
2. «Стратегия развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г.», утв. Президентом РФ 20.02.2013 г.
3. Указ Президента РФ «О государственной комиссии по вопросам развития Арктики» от 03.02.2015 № 50.
4. Государственная программа РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ», утв. постановлением Правительства РФ от 21.04.2014 г. № 366 (в ред. от 31.08.2017 г. № 1064).
5. Федеральный закон от 17.12. 1998 г. № 191-ФЗ "Об исключительной экономической зоне Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями)
6. Федеральный закон от 28.07.2012 г. № 132-ФЗ «О внесении изменений в законодательные акты РФ в части государственного регулирования торгового мореплавания в акватории Северного морского пути».
7. Правила плавания в акватории СМП (утв. Приказом Министерства транспорта РФ от 17.01. 2013 г. №7)
8. Закон Российской Федерации от 01.04.1993 г. №4730-1 «О государственной границе Российской Федерации» (с изменениями).
9. Указ Президента РФ от 27.06.2017 г. № 287 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации».
10. Указ Президента РФ от 31.12.2015 № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».
11. Таранцев А.А., Лосев М.А., Таранцев А.А. История и перспективы освоения Арктической зоны и Крайнего Севера. СПб.: ИПТ РАН, 2020. – 48 с.
12. Алешков М.В., Безбородько М.Д., Ольховский И.А., Двоенко О.В. История развития технических средств борьбы с пожарами в условиях низких температур // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. №11. С. 77-83.
13. Способ тушения пожара в помещении в условиях низких температур и устройство для его реализации / А.А.Таранцев, А.А.Таранцев // Патент РФ №2714272, 2018.
14. Таранцев А.А., Холостов А.Л., Кушпиль И.В., Таранцев А.А. О новом подходе к тушению пожаров в условиях низких температур // Электронный журнал «Технологии техносферной безопасности», №1, 2018, с.72-80.
15. Таранцев А.А., Ищенко А.Д., Таранцев А.А., Горохов А.П. О способе подавления пожара на объектах Северного Морского пути, в том числе на энергообъектах // Морские интеллектуальные технологии, № 4 (42), Т.4, 2018, с.202-207.
16. Таранцев А.А., Ищенко А.Д., Холостов А.Л., Таранцев А.А., Горохов А.П. О проблеме подавления пожара на удаленных автономных объектах в условиях экстремально низких температур // Пожары и ЧС: предотвращение, ликвидация. – 2019. - №2. - С.30-40, DOI:10.25257/FE.2019.2.30-40.
17. Таранцев А.А., Ищенко А.Д., Холостов А.Л., Таранцев А.А. Управление противопожарной защитой модульных объектов в районах с экстремально низкой температурой // Пожары и ЧС: предотвращение, ликвидация. – 2020. - №1. - С.16-21.
18. Таранцев А.А., Ищенко А.Д., Шидловский А.Л. Об особенностях действий по тушению пожара в условиях Арктики // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2020. - №3. - С.16-20.

19. Боевой устав подразделений пожарной охраны, определяющий порядок организации тушения пожаров и проведения АСР. Утв. приказом МЧС от 16.10.2017 г. № 444, зарегистрирован в Минюсте РФ 20.02.2018 г., рег. № 50100.

References

1. Osnovy gosudarstvennoj politiki RF v Arktike na period do 2035 goda. – Utverzhdeny Prezidentom RF 05.03.2020, № 164.
2. «Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony RF i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti na period do 2020 g.», utv. Prezidentom RF 20.02.2013 g.
3. Ukaz Prezidenta RF «O gosudarstvennoj komissii po voprosam razvitiya Arktiki» ot 03.02.2015 № 50.
4. Gosudarstvennaya programma RF «Social'no-e'konomicheskoe razvitie Arkticheskoy zony RF», utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 21.04.2014 g. № 366 (v red. ot 31.08.2017 g. № 1064).
5. Federal'ny'j zakon ot 17.12. 1998 g. № 191-FZ "Ob isklyuchitel'noj e'konomicheskoy zone Rossijskoj Federacii" (s izmeneniyami i dopolneniyami)
6. Federal'ny'j zakon ot 28.07.2012 g. № 132-FZ «O vnesenii izmenenij v zakonodatel'ny'e akty RF v chasti gosudarstvennogo regulirovaniya torgovogo moreplavaniya v akvatorii Severnogo morskogo puti».
7. Pravila plavaniya v akvatorii SMP (utv. Prikazom Ministerstva transporta RF ot 17.01. 2013 g. №7)
8. Zakon Rossijskoj Federacii ot 01.04.1993 g. №4730-1 «O gosudarstvennoj granice Rossijskoj Federacii» (s izmeneniyami).
9. Ukaz Prezidenta RF ot 27.06.2017 g. № 287 «O suxoputny'x territoriyah Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii».
10. Ukaz Prezidenta RF ot 31.12.2015 № 683 «O Strategii nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii».
11. Tarancev A.A., Losev M.A., Tarancev A.A. Istoriya i perspektivy osvoeniya Arkticheskoy zony i Krajnego Severa. SPb.: IPT RAN, 2020. – 48 s.
12. Aleshkov M.V., Bezborod'ko M.D., Ol'xovskij I.A., Dvoenko O.V. Istoriya razvitiya texnicheskix sredstv bor'by s pozharemi v usloviyax nizkix temperatur // Pozharozvry vobezopasnost'. 2016. T. 25. №11. S. 77-83.
13. Sposob tusheniya pozhara v pomeshhenii v usloviyax nizkix temperatur i ustrojstvo dlya ego realizacii / A.A.Tarancev, A.A.Tarancev // Patent RF №2714272, 2018.
14. Tarancev A.A., Xolostov A.L., Kushpil' I.V., Tarancev A.A. O novom podxode k tusheniyu pozharov v usloviyax nizkix temperatur // E'lektronny'j zhurnal «Texnologii texnosfernoj bezopasnosti», №1, 2018, s.72-80.
15. Tarancev A.A., Ishhenko A.D., Tarancev A.A., Goroxov A.P. O sposobe podavleniya pozhara na ob'ektax Severnogo Morskogo puti, v tom chisle na e'nergoob'ektax // Morskie intellektual'ny'e texnologii, № 4 (42), T.4, 2018, s.202-207.
16. Tarancev A.A., Ishhenko A.D., Xolostov A.L., Tarancev A.A., Goroxov A.P. O probleme podavleniya pozhara na udalenny'x avtonomny'x ob'ektax v usloviyax e'kstremal'no nizkix temperatur // Pozhary i ChS: predotvrashhenie, likvidaciya. – 2019. - №2. - S.30-40, DOI:10.25257/FE.2019.2.30-40.
17. Tarancev A.A., Ishhenko A.D., Xolostov A.L., Tarancev A.A. Upravlenie protivopozharnoj zashhitoy modul'ny'x ob'ektov v rajonax s e'kstremal'no nizkoj temperaturoj // Pozhary i ChS: predotvrashhenie, likvidaciya. – 2020. - №1. - S.16-21.
18. Tarancev A.A., Ishhenko A.D., Shidlovskij A.L. Ob osobennostyax dejstvij po tusheniyu pozhara v usloviyax Arktiki // Problemy upravleniya riskami v texnosfere. – 2020. - №3. - S.16-20.
19. Boevoj ustav podrazdelenij pozharnoj ohrany, opredelyayushhij poryadok organizacii tusheniya pozharov i provedeniya ASR. Utv. prikazom MChS ot 16.10.2017 g. № 444, zaregistrirovann v Minyuste RF 20.02.2018 g., reg. № 50100.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Александр Алексеевич Таранцев, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук, 199178, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 12 линия, 13; профессор кафедры, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149, тел. 8(812)328-40-71 e-mail: info@iptran.ru

Alexandr A.T arantsev, professor, Dr. Sci. (Eng), Head of the laboratory, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science, 13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199178, Russian Federation; Professor of Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 149, Moskovskiy Avenue, Saint-Petersburg, 196105, Russian Federation, tel. 8(812)328-40-71 e-mail: info@iptran.ru

Андрей Дмитриевич Ищенко, доктор технических наук, профессор кафедры пожарной тактики и службы Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. 129366, Россия, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; тел: 8(495) 686-45-27, e-mail: adinko@mail.ru

Andrey D. Ishchenko, Dr. Sci. (Eng), Professor of fire tactics and service Department of Academy of EMERCOM of Russia, 4, Boris Galushkin str., Moscow, 129366, Russia; tel: 8(495) 686-45-27 e-mail: adinko@mail.ru

Андрей Александрович Таранцев, преподаватель кафедры пожарной тактики и службы Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. 129366, Россия, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; тел: 8(495) 686-45-27, e-mail: dask_cradle@mail.ru

Andrey A. Tarantsev, teacher of fire tactics and service Department of Academy of EMERCOM of Russia, 4, Boris Galushkin str., Moscow, 129366, Russia; tel: 8(495) 686-45-27, e-mail: dask_cradle@mail.ru

Поступила в редакцию: 11.09.2020

Принята к публикации: 11.02.2021

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 330.341

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.013

Качественные характеристики образовательной среды подготовки кадров морских и судостроительных профессий

С.С. Стуканова¹ e-mail: stukanova_ss@mail.ru, И.П. Стуканова² e-mail: ip_stukanova@mail.ru,

А.В. Агафонов² e-mail: rektorat@polytech21.ru

¹Московский политехнический университет, ²Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета

Аннотация. Возможности роста экономики и ее отраслей в значительной степени определяются характеристиками человеческих ресурсов, формирующих рабочую силу настоящего и будущих периодов. В современных реалиях многие сектора национальной экономики сталкиваются как с количественным, так и с качественным несоответствием потребностей в специалистах предложению рабочей силы на соответствующих рынках труда. В этом отношении морская и судостроительные отрасли исключением не являются. Необходимость решения обозначенной проблемы определяет значимость исследования текущего состояния образовательной среды, формирующей профессионально-квалификационный базис развития морской и судостроительной отраслей промышленности. В статье рассматриваются основные элементы образовательной среды и их качественные характеристики, а также осуществляется исследование направлений повышения эффективности функционирования образовательной среды через качественное преобразование ее отдельных элементов, что является весьма актуальным. На основе методов библиографии, анализа, синтеза и принципа детерминизма охарактеризовано качественное состояние основных элементов образовательной среды. Сделан вывод о том, что в современных условиях образовательной среде подготовки кадров морских и судостроительных профессий необходимо развивать международную составляющую образовательного процесса и принципы концепции обучения через всю жизнь. **Ключевые слова:** образовательная среда, качественные характеристики образовательной среды, профессиональное образование, проблемы подготовки квалифицированных специалистов

Qualitative characteristics of educational environment for marine and shipbuilding professionals training

Sofya S. Stukanova¹ e-mail: stukanova_ss@mail.ru, Irina P. Stukanova² e-mail: ip_stukanova@mail.ru,

Alexander V. Agafonov² e-mail: rektorat@polytech21.ru

¹Moscow Polytechnic University, Russian Federation, ²Cheboksary Institute (Branch) of Moscow Polytechnic University, Russian Federation

Abstract. The economy and its industries growth opportunities are largely determined by the characteristics of human resources that form the labor force of the present and future periods. Currently many sectors of national economy face both quantitative and qualitative inconsistencies in the needs of personnel and labour supply in respective labor markets. And In this regard, the maritime and shipbuilding industries are not an exception. The need to solve this problem determines the importance of research of the current state of the educational environment, which forms the professional and qualification basis for the marine and shipbuilding industries development. The article considers the main elements of the educational environment and their qualitative characteristics. It also studies possible directions of educational environment effectiveness improvement through the qualitative transformation of its elements. All these seems to be very urgent. On the basis of scientific methods of bibliography research, analysis, synthesis and on the basis of principle of determinism the qualitative condition of educational environment main elements are characterized. It is justified that in the current circumstances for the educational environment of growing professionals for marine and shipbuilding industries it's obligatory to develop international component of educational process as well as positive attitude towards the principles of long-life education realization.

Keywords: educational environment, qualitative characteristics of educational environment, professional education, problems of qualified specialists development

Введение

Морской и судостроительный сектора экономики, играющие важную роль в формировании ее устойчивости, поддержании конкурентоспособности и развитии, призваны стать центрами не только очаговой, но и системной модернизации, способной распространить свои достижения на множество смежных отраслей и секторов, включая такие наукоемкие и значительные отрасли промышленности как автомобилестроение, энергетика, авиастроение и др.

Диверсифицированная структура современного российского судостроительного и морского

комплексов, включающая предприятия судостроительного, судоремонтного профилей, морского приборостроения, научно-исследовательские и опытно-конструкторские организации, электротехнические предприятия и т.д., формируется более чем 600 предприятиями и организациями, а также более чем 3 тыс. организациями, занимающихся поставками материалов, комплектующих и электронной базы [11].

Реализация модернизационных преобразований в столь сложной и диверсифицированной структуре определяет необходимость осуществления качественных изменений производственного,

научно-исследовательского, логистического, маркетингового, управленческого и иных процессов. При этом очевидно, что достижение высоких и устойчивых результатов отмеченных преобразований возможно только при обеспечении рассматриваемых отраслей и секторов промышленности высококвалифицированными специалистами, качественные характеристики которых отвечают требованиям экономики и направлениям ее развития.

В вопросе подготовки кадров ведущая роль традиционно отводится образовательной среде. На взаимосвязь возможностей развития экономики и ее отдельных отраслей, образовательной среды и научной составляющей не раз обращал внимание и Президент России В.В. Путин, отмечая, что без образования, науки и человеческого капитала никакая прорыв невозможен [2].

В полной мере соглашаясь с мнением ученых из ГУМ РФ им. Адмирала С.О. Макарова о том, что "морское образование не может существовать отдельно от системы, сформировавшейся в стране" [1], считаем необходимым рассмотреть качественные характеристики образовательной среды, определяющей возможности развития морского образования и обеспечения морского и судостроительного секторов промышленности профессиональными работниками.

Система образования (и морского образования в частности) является одним из элементов сложной социально-экономической системы, которую представляет собой образовательная среда, состоящая из совокупности систем социокультурного, психологического, пространственно-временного, материального, личностного характера; включающая систему формального и неформального образования и направленная на развитие качественных параметров человеческих ресурсов и повышение ценности знаний [5, 98]

1. Методология исследования

Проблематика и предмет исследования предопределяют выбор методов, т.е. определенного пути, способа исследования и изложения выводов. Настоящая работа основывается на методах:

- библиографии, а именно библиографирования (обозрения, цитирования, рецензирования), формирующими теоретическую и фактологическую базу исследования;

- анализа, позволяющего охарактеризовать современное состояние образовательной среды и ее отдельных качественных характеристик;

- синтеза, определяемого теорией познания как метод, позволяющий получить представление об именуемых связях между составляющими предмета исследования, что необходимо для определения характера взаимодействия между отдельными элементами образовательной среды;

и принципах:

- системного подхода, учитывающего возможность влияния системы на состояние и направления развития ее отдельных элементов, а также зависимость характеристик системы от ее взаимодействия с внешней средой;

- детерминизма, позволяющего раскрыть условия, причины и закономерности развития качественных характеристик образовательной среды.

Достоверность положений и выводов, изложенных в статье, обоснована результатами анализа статистических данных, собранных и представленных органами официальной статистики, авторитетными отечественными и зарубежными исследовательскими центрами и агентствами, апробированными результатами исследований современных ученых.

2. Кадровые проблемы отрасли как вызов образовательной среде

Проблема обеспеченности персоналом, обладающим актуальными знаниями, умениями, навыками и компетенциями, мотивированным к производительному труду, готовым к постоянному развитию своих качественных характеристик и лояльному к профессии, довольно остро стоит перед предприятиями и организациями многих отраслей промышленности. Морской и судостроительный сектора в данном случае не являются исключением.

Данный тезис находит подтверждение в исследовательских и программных материалах различных уровней, начиная со Стратегии развития морской деятельности в РФ до 2030г., в которой среди основных проблем отрасли называется недостаток квалифицированных кадров по специальностям и направлениям подготовки в сфере морской деятельности и недостаточный уровень обеспеченности научными и педагогическими кадрами и внедрения инноваций в образовательный процесс [15]; продолжая результатами исследований отечественных ученых из ГМУ им. Адмирала Ф.Ф.Ушакова и ГУМ РФ им. Адмирала С.О. Макарова [1;12] и заканчивая информацией, представленной руководителями предприятий морской и судостроительной отраслей [8].

Кадровые проблемы анализируемых отраслей зачастую схожи с общими для российского рынка труда негативными характеристиками. И, в первую очередь, это все чаще проявляющиеся "сбои" в действии основного закона диалектики перехода количества в качество, согласно которому увеличение общей численности рабочей силы должно, на определенном этапе, приводить к улучшению ее качественного состава. Однако на практике приходится сталкиваться с иной ситуацией.

Так, согласно данным официальной статистики [18], в целом по стране в течение последних лет наблюдается положительная динамика численности рабочей силы и занятых, повышается уровень занятости, стабильна величина обеспеченности рынка труда молодыми специалистами, имеющими высшее образование.

Что касается образовательной среды морского и судостроительного комплексов в части институтов образования, обеспечивающих перспективы формирования предложения на рынке труда, то она представлена 5 единичными образовательными комплексами на базе крупных вузов с присоединенными к ним образовательными учреждениями среднего профессионального образования, обеспечивающими подготовку и переподготовку специалистов для отрасли.

Несмотря на это, имеющаяся проблема привлечения и сохранения кадров [15] приводит к отрицательной динамике отраслевого коэффициента текучести кадров как среди командного состава, так и среди береговых специалистов [12].

Данная тенденция накладывается на острые для российской экономики проблемы снижения численности занятых в сфере исследований и разработок и количества исследователей, имеющих высшее образование (табл. 1). При этом следует отметить, что на сегодняшний день средний возраст исследователей составляет 51 год; ученых, имеющих степень доктора наук – 63 года; а коэффициент замещения персонала, занятого исследованиями и разработками не дотягивает до "1" уже более 20 лет, составляя в последние годы 0,934 [7].

Учитывая тот факт, что для морской и судостроительной отраслей принципиально важным является переход на новые цифровые технологии, активизация проведения научных исследований, испытаний, развитие судостроительного производства и эксплуатации техники [15], отсутствие прироста численности работников в научной сфере морского и судостроительного комплекса на фоне того, что средний возраст исследователей в нем приближается к 50 годам [11], выглядит неутешительно.

Таблица 1

Отдельные характеристики занятости в сфере исследований и разработок [7]

Показатель	Год		
	2000	2015	2018
Численность персонала, занятого исследованиями и разработками, всего, чел.	887729	738857	682580
в том числе:			
в научно-исследовательских организациях	718434	435502	394402
в организациях промышленного производства	54721	53868	52977
Численность персонала, занятого исследованиями и разработками и имеющего:			
высшее образование	530649	537118	511222
среднее образование	144503	95640	85539
прочее образование	212577	106099	85819

Решению обозначенных проблем призвана стать гармонизация функционирования образовательной среды, рынка труда морских специальностей и воспитание соответствующих ценностно-поведенческих и профессиональных установок будущих специалистов.

3. Образовательная среда морского и судостроительного комплекса: анализ текущего состояния

Для исследования качественных характеристик образовательной среды считаем целесообразным

использование элементов системного подхода, позволяющего оценить состояние и содержание проблемной ситуации на "входе" (проанализировав мотивы выбора профессии курсантами и обучающимися морских и судостроительных образовательных организаций; исследовать качественные характеристики абитуриентов; доступность соответствующего образования; наличие квалифицированного профессорско-преподавательского состава); в процессе функционирования образовательной среды (исследовав соответствие практик образовательных учреждений лучшим мировым стандартам и практикам; степень участия обучающихся и преподавателей в международных образовательных проектах; уровень научной активности участников образовательного процесса); и на "выходе" (посредством оценки удовлетворенности работодателей уровнем знаний молодых специалистов; желания выпускников работать по специальности; разнообразия (diversity) полученных в ходе обучения умений и навыков; уровня доступности квалифицированных специалистов).

Так, "входная" оценка образовательной среды в современных условиях имеет немного положительных характеристик. Зачисляя обучающихся и слушателей на образовательные программы (особенно основного профессионального образования), руководители образовательных организаций отмечают недостаточный уровень подготовки абитуриентов и снижающееся в последнее время качество знаний по базовым дисциплинам.

Доказывают правомерность таких оценок и результаты исследований, проведенных PISA (Programme for International Student Assessment), согласно которым российские школьники занимают 31-е место в мировом рейтинге по читательской грамотности, 30-е – по математической и 33-е – по естественнонаучной, снизив за четыре года свои показатели на 5, 7 и 1 пункты соответственно [10].

Несмотря на снижающийся уровень подготовки абитуриентов, характеризующий качество будущих студентов, их (обучающихся) количественные показатели выводят российское высшее образование в мировые лидеры, поскольку по проценту женщин в возрасте 25-64 лет, имеющих высшее образование, Российская Федерация занимает 1-е место в мире; а по аналогичному показателю среди мужчин – 5-е место (табл. 2). При этом по проценту населения, имеющего среднее специальное образование, Россия занимает предпоследнее место среди обследованных стран [16].

Неугасающая популярность высшего образования в нашей стране не приводит, тем не менее, к разделению большей частью населения принципов концепции long-life education. Подтверждением этому являются результаты исследований, согласно которым ожидаемая продолжительность обучения в России достигает только 15,5 лет, тогда как даже в Уругвае и Бахрейне она составляет 15,9 и 16 лет, а в Норвегии, Ирландии, Бельгии и Австралии – 17,9; 19,6; 19,8 и 22,8 года соответственно [17].

Таблица 2

Процент людей с высшим образованием в возрасте 25-64 лет в некоторых странах мира [16]

Место в рейтинге	Женщины		Мужчины	
	Страна	% населения	Страна	% населения
1	Россия	61	Корея	48
2	Канада	59	Япония	48
3	Израиль	53	Канада	48
4	Финляндия	48	Люксембург	48
5	Япония	48	Россия	47
6	США	47	Швейцария	46
7	Эстония	46	Израиль	44
8	Норвегия	46	США	41
9	Австралия	45	Великобритания	41
10	Швеция	45	Австралия	38

Отсутствие мотивации к длительному обучению и получению качественного образования проявляется также в реализуемых образовательных стратегиях и поведении студентов. Так, определенная образовательная программа выбирается абитуриентами в соответствии с их способностями только в 4-х случаях из 10 (по техническим специальностям – в 3-х из 10). Обучение в магистратуре в каждом 10-м случае продиктовано желанием избежать призыва службы в Вооруженных силах или желанием продлить право проживания в общежитии [14].

Что касается процесса функционирования образовательной среды, то в ходе обучения порядка 80% студентов и бакалавриата, и специалитета, и магистратуры не посещают дополнительных занятий, а около 15% практически не готовятся к занятиям по изучаемым дисциплинам при том, что большинство из них ориентированы на управленческую работу в топ-менеджменте или на руководящих позициях среднего звена [14].

Однако, рассматривая особенности поведения обучающихся в вопросах получения профессионального образования, важно отметить, что студенты и курсанты образовательных учреждений морского и судостроительного комплексов более вдумчиво и осознанно подходят к выбору профессии, демонстрируя и более выраженную гражданскую позицию.

Согласно результатам эмпирических исследований, проведенных в Керченском государственном морском технологическом университете, для больше чем половины курсантов (51,2%) наиболее важными являются внутренние индивидуальные мотивы и только для 9,3% - внешние отрицательные мотивы (табл. 3).

Таблица 3

Ведущие мотивы выбора профессии курсантами морских вузов [19]

Классификация групп опрошенных	Характеристика мотивов
1 группа (51,2%) – преобладают внутренние индивидуально значимые мотивы	наиболее важно соответствие профессии способностям, уровню умственного и физического развития; удовлетворение от работы; значимость профессии лично для себя;

2 группа (29,4%) – преобладают внутренние социально значимые мотивы	наиболее важна возможность принести пользу обществу своим трудом и его результатами; возможности достижения высоких результатов; возможность оказания помощи людям;
3 группа (10,1%) – преобладают внешние положительные мотивы	наиболее важны материальное стимулирование; возможность карьерного продвижения; престиж; одобрение коллег;
4 группа (9,3%) – преобладают внешние отрицательные мотивы	на выбор профессии повлияло внешнее негативное воздействие, сталкивались с осуждением, критикой и т.д.

Мотивационно-поведенческие, ценностные и личностные детерминанты имеют принципиально важное значение для подготовки профессионалов высокого уровня. И в этом следует согласиться со специалистами Института проблем транспорта РАН [9]. Тем не менее, не умаляя нравственно-мотивационных факторов образовательного и профессионального поведения, дискуссионной считаем их точку зрения относительно того, что мораль и воля являются самыми "мощными и устойчивыми", факторами профессионального поведения, первичными по сравнению с профессионализмом (который в терминологии данных исследователей относится к факторам вторичным, оперативным).

Кратко и четко относительно значимости профессионализма высказался Президент РФ В.В. Путин, сказав, что "самые передовые технологии могут заработать, если будут люди, способные их развивать и использовать" [13]. Доказательством правомерности его слов служит объективная статистика, согласно которой страны, лидирующие по уровню доступности квалифицированных специалистов (табл. 4), занимают и ведущие строки мировых рейтингов по уровню экономического развития, и именно в компании этих стран "утекают" лучшие специалисты, в том числе морских специальностей [3].

Таблица 4

Рейтинг стран по разнообразию навыков выпускников и по доступности квалифицированных специалистов [17]

Страна	Место в рейтинге по доступности квалифицированных специалистов
	Норвегия
Финляндия	2
США	5
Израиль	6
Дания	12
Германия	15
Канада	16
Италия	40
Россия	89

Безусловно, развитие образовательной среды подготовки кадров морских и судостроительных профессий сталкивается со множеством трудностей, начиная от необходимости укрепления

профессорско-преподавательского состава, постоянного совершенствования материально-технической базы (Григорьев Н., Костылев И., [3]), формирования и распределения финансовых потоков (Григорьев Н., Наконечный М. [4] и продолжая необходимостью соответствия требованиям цифровизации образовательных процессов, развития международных научных и академических проектов, мобильности [12] и т.д.

Международная деятельность образовательных организаций и интеграция международного опыта в реализацию программ обучения играют важную роль в развитии образовательной среды. Однако, на сегодняшний день возможность реализации международных образовательных проектов имеется, преимущественно, у крупных столичных вузов, и в этом плане вузам морского и судостроительного профилей приходится непросто: организовывать международные стажировки не всегда возможно, а привлечение зарубежных профессоров не всегда доступно.

Аналогичные проблемы свойственны многим образовательным учреждениям, ввиду чего отечественная система образования вынуждена развиваться в некоторых рамках.

Ограниченная возможность оперативного расширения связей образовательной среды и повышения ее открытости научным и образовательным инновациям приводит к тому, что на сегодняшний день наша страна находится на 89-м месте в мире по уровню доступности квалифицированных специалистов и на 96-м месте – по разнообразию навыков выпускников [14], что во многом определяет низкую производительность труда (26,5 долл. США/ час) [6]. Что касается морской отрасли, то отмеченные проблемы и особенности функционирования образовательной среды морского и судостроительного комплексов определяют то, что Россия сегодня весьма незначительно участвует в мировых процессах морской перевозки экспорто-импортных грузов, поскольку только около 2-х их

процентов перевозится под российским флагом [3], что в малой степени стимулирует дальнейшее развитие морской и смежной отраслей.

Заключение

Преодоление охарактеризованных трудностей является важнейшей задачей, решение которой обусловит возможности дальнейшего развития морского и судостроительного комплексов, привлечения в них молодых конкурентоспособных работников, повышения эффективности функционирования образовательной среды подготовки специалистов-отраслевиков и заложит направления социально-экономического развития отдельных территорий, областей и регионов.

Предложенное также позволит создать благоприятные условия для реализации Стратегии развития судостроительной промышленности; обеспечит повышение конкурентоспособности отрасли, улучшение квалификационной и социальной составляющих ее кадрового состава, стабильный рост объемов производства и оказываемых услуг не только за счет достижения значений целевых индикаторов реализации Стратегии, но и посредством обеспечения преемственности ценностных ориентиров, высокого уровня профессионализма и разнообразия компетенций работников, сформированных на основе интеграции отечественной и международной практики подготовки специалистов.

Кроме того, отмеченные меры призваны развивать профессионально-мотивационные составляющие качества работы профессорско-преподавательского состава образовательных организаций, готовящих специалистов для морской и судостроительной отраслей, что будет способствовать реализации качественных образовательных трансфертов и повышению престижа российского морского образования.

Литература

1. Блинов Э.К., Никитин А.М., Ходырев В.Я. Замечания по проблемам развития морского образования. 11.04.2012. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.korabel.ru/news/comments/zamechaniya_po_probleмам_razvitiya_morskogo_obrazovaniya.html (дата обращения 04.09.2020).
2. Гималетдинова Р. Путин: "образование, наука, человеческий капитал – без чего никакой прорыв невозможен" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://media.kpfu.ru/news/putin-obrazovanie-nauka-chelovecheskiy-kapital-bez-chego-nikakoy-proryv-nevozmozen> (дата обращения 12.09.2020).
3. Григорьев Н., Костылев И. Кадры – стратегический резерв государства? // Морские вести России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.morvesti.ru/themes/1696/69827/> (дата обращения 09.09.2020).
4. Григорьев Н., Наконечный М. Морскому образованию требуются не реформы, а здравый смысл // Морские вести России [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.morvesti.ru/themes/1696/69827/> (дата обращения 01.09.2020).
5. Жук С.С. Институционально-инструментальные аспекты управления качеством человеческих ресурсов. – М.: Дашков и К, 2015. – 239с.
6. Ильина Н., Старостина Ю. Россия отстала в 3,8 раза от Ирландии по производительности труда [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.rbc.ru/economics/05/02/2019/5c5872889a794725eb8d815e> (дата обращения 10.09.2020).
7. Индикаторы науки: 2020 : статистический сборник/ Л.М. Гохберг, К.А. Дитковский, Е.И. Евневич и др.; Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики". – М.: НИУ ВШЭ, 2020. – 336с.
8. Как дальневосточные регионы борются с кадровым дефицитом в судостроении [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tass.ru/v-strane/5386130> (дата обращения 05.09.2020).

9. Каминский В.Ю., Маринов М.Л., Скороходов Д.А. Методика учета профессионально-ценностного аспекта действий судоводителей во время тренажерной подготовки // Морские интеллектуальные технологии, 2018. - №1 (39). – Т.1. – сс. 209-214.
10. Миронова К. Российская школа стала чуть более средней // Коммерсант. – №4 от 04.12.2019. – с. 4.
11. Опубликована Стратегия развития судостроения до 2035 года. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://morvesti.ru/news/1684/81242> (дата обращения 05.10.2020).
12. Панамарева О.Н. Состояние, проблемы и перспективы развития образования в морской отрасли как основы формирования нового качества экономики РФ // Общество: социология, психология, педагогика, 2011. - №3-4. – сс. 53-61.
13. Путин В.В. Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации от 4 декабря 2014 года. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://kremlin.ru/events/president/news/47173> (дата обращения: 05.03.2020).
14. Рудаков В.Н., Рощина Я.М., Битокова Л.А. Изменения стратегий, мотиваций и экономического поведения студентов и преподавателей российских вузов // Информационный бюллетень НИУ ВШЭ «Мониторинг экономики образования». — 2019. — № 1.
15. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года. – Утверждена распоряжением Правительства РФ от 28.10.2019 №2553-р. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://minpromtorg.gov.ru/docs/#!strategiya_razvitiya_sudostroitelnoy_promyshlennosti_na_period_do_2035_goda (дата обращения 20.09.2020).
16. Стуканова С.С., Стуканова И.П. Интеграция международных образовательных проектов в отечественную систему образования // Экономические системы. – 2020. – Т.13. - №1. – с. 176-184.
17. Стуканова С.С., Стуканова И.П. Качество образования как индикатор и инструмент повышения качества жизни // Стандарты и качество. – 2020. - №1. – с. 94-97.
18. Труд и занятость в России. 2019. Стат. сб. / Росстат – М., 2019. - 135с.
19. Яковенко М.Л., Никонорова М.А., Бабина О.В., Озаркив О.М. Морская и рыбохозяйственная отрасли: от выбора профессии до профессиональной реализации : Монография / М.Л. Яковенко; науч. ред. М.Л. Яковенко. – Керчь: ФГБОУ ВО "КГМТУ", 2018. – 104с.

References

1. Blinov E.K., Nikitin A.M., Khodyrev V.Ya. Zamechaniya po problemam razvitiya morskogo obrazovaniya. [Comments on the Marine Education Development] 11.04.2012. [Elektronnyy resurs] https://www.korabel.ru/news/comments/zamechaniya_po_probleмам_razvitiya_morskogo_obrazovaniya.html.
2. Gimaletdinova R. Putin: "obrazovanie, nauka, chelovecheskiy kapital – bez chego nikakoy proryv nevozmozhnen". [Putin: "education, science, human capital – without what no breakthrough is possible] [Elektronnyy resurs]. <https://media.kpfu.ru/news/putin-obrazovanie-nauka-chelovecheskiy-kapital-bez-cheho-nikakoy-proryv-nevozmozhnen>.
3. Grigor'ev N., Kostylev I. Kadry – strategicheskiy rezerv gosudarstva?, [Personnel is a strategic reserve of the state?] Morskoe vesti Rossii [Elektronnyy resurs]. <http://www.morvesti.ru/themes/1696/69827/>.
4. Grigor'ev N., Nakonechnyy M. Morskomu obrazovaniyu trebuyutsya ne reformy, a zdnavyy smysl. [Marine education requires not reforms, but common sense] Morskoe vesti Rossii [Elektronnyy resurs]. <http://www.morvesti.ru/themes/1696/69827/>.
5. Zhuk S.S. Instituttsional'no-instrumental'nye aspekty upravleniya kachestvom chelovecheskiykh resursov. [Institutional and instrimantal aspects of human resources quality management] M.: Dashkov i K, 2015. 239s.
6. Il'ina N., Starostina Yu. Rossiya otstala v 3,8 raza ot Irlandii po proizvoditel'nosti truda [Russia lagged 3.8 times behind Ireland in labour productivity terms] [Elektronnyy resurs]. URL:<https://www.rbc.ru/economics/05/02/2019/5c5872889a794725eb8d815e>.
7. Indikatory nauki: 2020 : statisticheskiy sbornik. [Science Indicators: 2020: statistics collection] L.M. Gokhberg, K.A. Ditkovskiy, E.I. Evnevich i dr.; Natsional'nyy issledovatel'skiy universitet "Vysshaya shkola ekonomiki". M.: NIU VShE, 2020. 336s.
8. Kak dal'nevostochnye regiony boryutsya s kadrovym defitsitom v sudostroenii [How Far Eastern Regions are solving the problem of personnel deficit in shipbuilding] [Elektronnyy resurs]. <https://tass.ru/v-strane/5386130>.
9. Kaminskiy V.Yu., Marinov M.L., Skorokhodov D.A. Metodika ucheta professional'no-tsennostnogo aspekta deystviy sudovoditeley vo vremya trenazherno podgotovki. [Methodics of professional and value aspects of boatmasters' actions during simulator trainings assessment] /Morskoe intellektual'nye tekhnologii, 2018. №1 (39). Т.1. s. 209-214.
10. Mironova K. Rossiyskaya shkola stala chut' bolee sredney [Russian school has become a little bit more average] //Kommersant. №4 ot 04.12.2019. s. 4.
11. Opublikovana Strategiya razvitiya sudostroeniya do 2035 goda. [The strategy of shipbuilding development till 2035 has been published] [Elektronnyy resurs]. <http://morvesti.ru/news/1684/81242>.
12. Panamareva O.N. Sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya obrazovaniya v morskoy otrasli kak osnovy formirovaniya novogo kachestva ekonomiki RF. [State, problems and perspectives of education in the marine industry development as the basis of Russia's economy new quality formation] /Obshchestvo: sotsiologiya, psikhologiya, pedagogika, 2011. №3-4. s. 53-61.
13. Putin V.V. Poslanie Prezidenta Rossiyskoy Federatsii Federal'nomu Sobraniyu Rossiyskoy Federatsii ot 4 dekabrya 2014 goda. The [Message form the President of the Russian Federation to the Russian Federation Federal Assemble dated December 4, 2014] [Elektronnyy resurs]. <http://kremlin.ru/events/president/news/47173>.

14. Rudakov V.N., Roshchina Ya.M., Bitokova L.A. Izmeneniya strategiy, motivatsiy i ekonomicheskogo povedeniya studentov i преподаvateley rossiyskikh vuzov. [Changes in strategies, motivations and economic behavior of students and professors of Russian universities] Informatsionnyy byulleten' NIU VShE «Monitoring ekonomiki obrazovaniya». 2019. № 1.
15. Strategiya razvitiya sudostroitel'noy promyshlennosti na period do 2035 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 28.10.2019 №2553-r. [The Strategy of the shipbuilding industry development for the period till 2035. Approve by the order of the Government of the Russian Federation dated October 28, 2019. №2553-r] [Elektronnyy resurs]. http://minpromtorg.gov.ru/docs/#!strategiya_razvitiya_sudostroitelnoy_promyshlennosti_na_period_do_2035_goda.
16. Stukanova S.S., Stukanova I.P. Integratsiya mezhdunarodnykh obrazovatel'nykh proektov v otechestvennuyu sistemu obrazovaniya. [Integration of international educational projects into the national system of education]. Ekonomicheskie sistemy. 2020. T.13. №1. s. 176-184.
17. Stukanova S.S., Stukanova I.P. Kachestvo obrazovaniya kak indikator i instrument povysheniya kachestva zhizni [Quality of education as an indicator and an instrument of quality of life improvement] Standarty i kachestvo. 2020. №1. s. 94-97.
18. Trud i zanyatost' v Rossii. 2019. [Labor and Employment in Russia, 2019] Stat. sb. / Rosstat. M., 2019. 135s.
19. Yakovenko M.L., Nikonorova M.A., Babina O.V., Ozarkiv O.M. Morskaya i rybokhozyaystvennaya otrasli: ot vybora professii do professional'noy realizatsii [Marine and fisheries industries: from the choice of the profession to the professional realization] : Monografiya / M.L. Yakovenko; nauch. red. M.L. Yakovenko. Kerch': FGBOU VO "KGMTU", 2018. 104s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Софья Сергеевна Стуканова, доктор экономических наук, доцент, профессор Центра проектной деятельности, Московский политехнический университет, 107023, Москва, ул. Б. Семеновская, 38, e-mail: stukanova_ss@mail.ru

Sofya S. Stukanova, Dr. Sci. (Econ.), Assistant Professor, Professor of the Project Management Center, Moscow Polytechnic University, B. Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russian Federation, e-mail: stukanova_ss@mail.ru

Ирина Петровна Стуканова, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры менеджмента и экономики, Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета, 428000, Чебоксары, ул. К. Маркса, 54, e-mail: ip_stukanova@mail.ru

Irina P. Stukanova, Dr. Sci. (Econ.), Assistant Professor, Professor of Management and Economics Department, Cheboksary Institute (Branch) of Moscow Polytechnic University, K. Marksa str., 54, Cheboksary, 428000, Russian Federation, e-mail: ip_stukanova@mail.ru

Александр Викторович Агафонов, кандидат биологических наук, доцент, директор Чебоксарского института, Чебоксарский институт (филиал) Московского политехнического университета, 428000, Чебоксары, ул. К. Маркса, 54, e-mail: rektorat@polytech21.ru

Alexander V. Agafonov, Ph.D. (Bio), Assistant Professor, Director of the Institute, Cheboksary Institute (Branch) of Moscow Polytechnic University, K. Marksa str., 54, Cheboksary, 428000, Russian Federation, e-mail: rektorat@polytech21.ru

Поступила в редакцию: 10.10.2020
Принята к публикации: 15.01.2021

УДК 658.8

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.014

Обеспечение конкурентоспособности товаров: биокибернетический аспектА.А. Исаев¹ e-mail: isaevalex@list.ru, Л.А. Исаева² e-mail: isaevala@list.ru¹Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, ²Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра 1

Аннотация. Предложена авторская трактовка понятия «конкурентоспособность товара» как способности товара (объекта обмена) демонстрировать наибольшую потребительскую привлекательность на данном рынке. Констатируется отсутствие среди ученых и специалистов единого мнения по поводу теории, согласно которой покупатель выбирает товары на данном рынке. Предложена авторская трактовка понятия «кибернетической антропологии» как науки, рассматривающей человека как компьютеризированную систему управления, которая функционирует на основании определенных программ (врожденных и приобретенных). Выявлены четыре элемента системы управления «Человек»: 1) Органическая машина (объект управления); 2) Управляющий орган (субъект управления); 3) Устройство «прямой связи» (Исполнительное устройство); 4) Устройство «обратной связи» (Коммуникационное устройство). Установлено, что Управляющий орган состоит из трех элементов: 1) Совершенный компьютер; 2) Сенсор; 3) Персональный компьютер. Предложены авторские трактовки понятий «чувство» и «эмоция» с позиции кибернетической антропологии. Выявлены четыре базовые программы психопрограммистики, а также три базовые программы теории выбора товаров на рынке (теории принятия решения о покупке).

Ключевые слова: конкурентоспособность товаров, кибернетическая антропология, психопрограммистика, теория выбора товаров на рынке.

Ensuring the competitiveness of goods: the biocybernetic aspectAlexander A. Isaev¹ e-mail: isaevalex@list.ru, Liudmila A. Isaeva² e-mail: isaevala@list.ru¹Vladivostok state university of economics and service, Vladivostok, Russian Federation, ²Emperor Alexander I Petersburg state transport university, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The author's interpretation of the concept of "competitiveness of a product" as the ability of a product (object of exchange) to demonstrate the greatest consumer appeal in this market is proposed. The absence of a consensus among scientists and specialists about the theory according to which the buyer chooses goods in this market is stated. The author's interpretation of the concept of "cybernetic anthropology" as a science that considers a person as a computerized control system that functions on the basis of certain programs (congenital and acquired) is proposed. Four elements of the "Human" control system have been identified: 1) Organic machine (control object); 2) Governing Body (subject of governing); 3) Device of "direct communication" (Executive device); 4) "Feedback" device (Communication device). It has been established that the Governing Body consists of three elements: 1) Perfect computer; 2) Sensor; 3) Personal computer. The author's interpretations of the concepts of "feeling" and "emotion" from the standpoint of cybernetic anthropology are proposed. Four basic programs of psyprogrammistics, as well as three basic programs of the theory of choosing goods on the market (the theory of making a purchase decision) are identified.

Key words: competitiveness of goods, cybernetic anthropology, psyprogrammistics, theory of the choice of goods on the market.

Введение

Обеспечение конкурентоспособности товаров (объектов обмена) – одна из основных задач, стоящих перед производителями изделий, услуг, информации (включая морские перевозки). При этом под «конкурентоспособностью товара» понимается способность товара демонстрировать наилучшую потребительскую привлекательность в сравнении с другими товарами на данном рынке. Дело в том, что низкая потребительская привлекательность товаров ведет к отказу покупателей приобретать товары данного предприятия, следствием чего становится уменьшение, как выручки, так и рентабельности данного предприятия в сравнении с конкурентами [2; 3; 4; 5; 6; 11]. В этой связи одним из основных факторов экономической успешности предприятия является потребительская привлекательность производимой продукции.

Однако до настоящего времени среди ученых и специалистов отсутствует единое мнение по поводу теории, согласно которой покупатель выбирает товары на данном рынке. По мнению авторов, основной причиной такой ситуации является

недооценка многими учеными и специалистами в области прикладной психологии такой научной отрасли как *кибернетическая антропология*. Речь идет о науке, рассматривающей человека как компьютеризированную систему управления, которая функционирует на основании определенных программ (как врожденных, так и приобретенных в процессе жизни человека) [9].

1. Кибернетическая антропология

По мнению авторов, в основе кибернетической антропологии лежит известная работа «отца кибернетики» Н. Винера «Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине» [15]. По сути, Н. Винер одним из первых высказал мысль о сходстве человека с высокоразвитым биороботом. О программах человека писал и Дж. Лилли в известной работе «Программирование и метапрограммирование в человеческом биокомпьютере. Теория и эксперименты» [13].

Дело в том, что один фактор существования рефлексов человека наводит на мысль о «роботизированной» природе человека, существовании некоего программного обеспечения,

которое определяет поведение *Органической машины* человека в данной ситуации.

В первом приближении система управления «Человек» состоит из четырех взаимосвязанных элементов (рис.):

- 1) *Органическая машина (объект управления);*
- 2) *Управляющий орган (субъект управления);*
- 3) *Исполнительное устройство (Устройство «прямой связи»);*
- 4) *Коммуникационное устройство (Устройство «обратной связи»).*

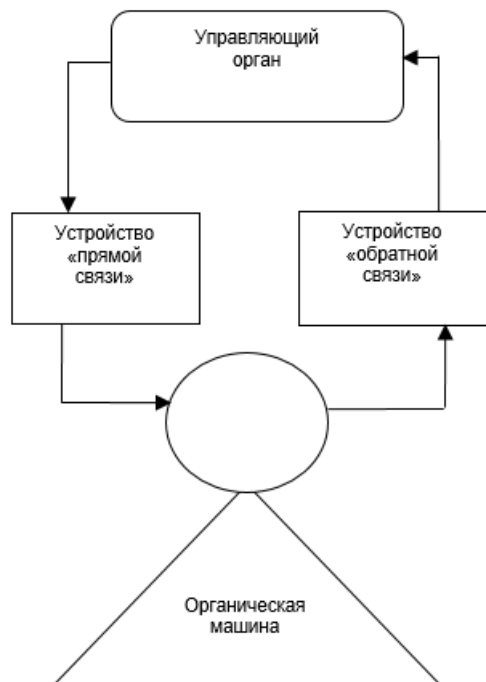


Рис. Общая схема системы управления «человек»

Целью функционирования системы «Человек» является удовлетворение различных потребностей человека (соматических или ментальных). При этом под «*потребностью*» понимается нехватка так называемых «*необходимых предметов потребления*» в данной ситуации. Причем характер необходимых предметов потребления, а также их оптимальный объем определяются соответствующими программами человека (врожденными или приобретенными).

Управляющий орган напоминает компьютер, который дает команды, как *Органическая машина* человека должна вести себя в данной ситуации. Причем местонахождение *Управляющего органа* кибернетическая антропология не рассматривает.

В основе функционирования *Управляющего органа* лежит определенная «библиотека программ». Каждая из элементарных программ *Управляющего органа* включает два «привязанных друг к другу» элемента: 1) сведения (например, сведения о состоянии материала *Органической машины*) и 2) команда (например, команда, как *Органическая машина* должна вести себя в зависимости от состояния материала *Органической машины*). Принцип функционирования *Управляющего органа* следующий. Сначала на основании входящей информации *Управляющий орган* ищет в «библиотеке программ»

соответствующую элементарную программу, а затем выявляет команду, которая связана с такой программой.

Непосредственным получателем команд *Управляющего органа* является *Исполнительное устройство*, которое непосредственно приводит в движение *Органическую машину*.

Устройство «обратной связи» информирует *Управляющий орган* о том, что происходит с материалом *Органической машины*, а также с какими объектами внешней среды она контактирует в данный момент. Основное назначение *Устройства «обратной связи»* состоит в том, чтобы подвергнуть коррекции неоптимальное поведение *Органической машины*.

Например, выполнение команды «ищи пищу» может привести *Органическую машину* в западню. В такой ситуации *Управляющий орган*, используя рациональное мышление, отказывается от старой команды и дает новую команду, корректирующую поведение *Органической машины*.

2. Чувства и эмоции

По мнению А.А. Исаева, *Управляющий орган* человека состоит из трех основных элементов:

- 1) *Совершенный компьютер;*
- 2) *Сенсор;*
- 3) *Персональный компьютер* индивида.

Сенсор – это часть «высокоорганизованной материи» (ее нередко называют *Душой*), с которой непосредственно связаны такие феномены, как ощущения, чувства, эмоции, мысли.

Основные функции Сенсора: 1) распознавание различных объектов окружающего мира и 2) выявление правильных моделей поведения (или мышления) при удовлетворении различных потребностей.

По мнению авторов, чувство – это реакция *Сенсора* на то, что происходит с материалом *Органической машины* с позиции *Совершенного компьютера*. Согласно программам *Совершенного компьютера*, разрушение материала *Органической машины* недопустимо. В этой связи разрушение материала *Органической машины* сопровождается возникновением такого негативного чувства как боль.

Таким образом, боль является индикатором, «подсказкой» того, что команда *Персонального компьютера* (и соответствующая ей модель поведения, которая привела к боли) является неправильной. Чтобы избежать боли (или минимизировать ее) в данной ситуации, *Персональный компьютер* должен выбрать другую команду.

Следует учитывать, что *Органическая машина* человека находится в постоянном взаимодействии с другими объектами внешней среды. В этой связи, как правило, боль является следствием неправильного поведения индивида человека по отношению к объектам внешней среды.

С учетом того, что любой поведенческий акт связан с определенной командой *Персонального компьютера*, причиной возникновения боли являются неправильная команда последнего. Например, когда вместо правильной команды с позиции *Совершенного компьютера* «Убегай», *Персональный компьютер* дает неправильную команду «Бей». Кстати, еще в «Аналитической

психологии» К.Г. Юнг рассказывал об ученых, считавших, что чувство – это «незаконченная», «ущербная», «хромая» мысль [14].

Таким образом, чтобы уменьшить частоту ошибок (болевых сигналов), *Персональный компьютер* человека должен все время приближаться в своем развитии к *Совершенному компьютеру*.

Эмоция – это реакция Сенсора на степень удовлетворения комплекса потребностей индивида.

Эмоции могут быть позитивными и негативными. Позитивные эмоции индивида – это следствие высокой степени удовлетворения данного комплекса потребностей, негативные эмоции, – соответственно. Особенность человека такова, что он совершает определенные действия лишь тогда, когда они приведут к удовлетворению соответствующих потребностей (т.е. приведут к положительным эмоциям) [10]. В этой связи эмоции являются мотиваторами (или демотиваторами) деятельности человека. Кстати, о том, что эмоции следует рассматривать, как «мотивационную систему» писал К. Изард в «Эмоциях человека» [12].

3. Психопрограммистика

Психопрограммистика (биоинформационная психология) – наука, содержанием которой являются программы (алгоритмы), лежащие в основе мышления и поведения человека как высокоразвитого биоробота.

Существуют четыре базовых программ человека.

1. Программа, предусматривающая, как мыслительную, так и поведенческую деятельность индивида при отсутствии необходимых объектов потребления.

Согласно психопрограммистике, «Необходимый объект потребления» – это название директории, которая объединяет различные объекты потребления. Помещение информации о любых объектах в директорию «необходимый объект потребления» автоматически делает такие объекты необходимыми для человека. В этой связи человек запрограммирован на потребление таких объектов, которые находятся в директории «необходимые объекты потребления» (например, воздух, вода, пища). Отсутствие необходимых объектов потребления рождает у человека нужду (потребность) в последних.

2. Рефлекторные программы

Классическая физиология трактует рефлекс (от лат. reflexus – отраженный) как опосредованная нервной системой быстрая реакция организма на раздражитель. Согласно кибернетической антропологии, рефлексы связаны с определенными программами (постоянными или временными). Причем по такому признаку, как «продолжительность жизни рефлекса» рефлексы делятся на две группы: безусловные (постоянные) и условные (временные).

3. Программа выбора наилучшего объекта потребления.

Выбор наилучшего объекта потребления осуществляется в режимах, как рационального (режим mind on), так и иррационального мышления (режим mind off). Если в первом случае используется законы рационального мышления (законы формальной логики и причинно-следственной связи), то во втором – законы иррационального мышления.

Причем особенность иррационального мышления состоит в том, что оно, прежде всего, опирается на «инстинкт следования», т.е. инстинкт подражания успешным субъектам (лидерам данной социальной группы, известным актеры, спортсменам, политикам и т.д.).

4. Программа формирования в памяти Управляющего органа информации о необходимых объектах потребления.

Формирование информации о необходимых объектах потребления осуществляется в режимах, как рационального (режим mind on), так и иррационального мышления (режим mind off).

4. Теория выбора товаров на рынке

Теория выбора товаров на рынке (теория принятия решения о покупке) является прикладным направлением психопрограммистики [1; 7; 8; 9; 10]. Речь идет о теории, содержанием которой являются программы (алгоритмы) выбора покупателем товаров на рынке.

В основе теории выбора товаров на рынке лежат следующие положения

1. Каждый объект торговли (товар) является интегрированным продуктом деятельности человека.

При этом «интегрированный продукт» – это комплекс основных и дополнительных продуктов деятельности предприятия, которые нацелены на удовлетворение различных потребностей покупателя и связаны друг с другом устойчивыми ассоциативными связями. При этом «основные продукты» – это продукты, нацеленные на удовлетворение основных потребностей покупателя (например, транспортные услуги), а «дополнительные продукты» – это продукты, нацеленные на удовлетворение дополнительных потребностей покупателя (например, реклама основного продукта).

2. Покупатель запрограммирован на выбор такого интегрированного продукта, потребление которого приведет к наиболее полному удовлетворению комплекса соответствующих потребностей и тем самым вызовет у покупателя более сильные позитивные эмоции в сравнении с интегрированными продуктами конкурентов.

3. Вызываемые данным интегрированным продуктом эмоции являются индикаторами степени удовлетворения основной двуединой потребности покупателя.

Речь идет о потребности приобрести интегрированный продукт определенного качества по минимальной цене. Чем выше отношения качества интегрированного продукта к его цене, тем более сильные позитивные эмоции вызывает данный продукт.

Заключение

Кибернетическая антропология и психопрограммистика (в т.ч. теория выбора товаров на рынке) являются теоретическим фундаментом, позволяющим разрабатывать научно обоснованные методы обеспечения конкурентоспособности товаров, как на уровне производителей товаров, так и на макроуровне. В частности, речь идет о методах оценки конкурентоспособности интегрированных транспортных продуктов судоходных компаний;

создание на судоходном предприятии эффективной системы ДТВ-управления (системы управления качеством характеристик интегрированных

транспортных продуктов с целью обеспечения конкурентоспособности таких продуктов на данном рынке).

Литература

1. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии. М.: Издательство стандартов, 1973. 172 с.
2. Исаев А.А. Конкурентная сила и конкурентоспособность предприятия // Экономика и предпринимательство. 2012. № 3 (26). С. 125-127.
3. Исаев А.А. Конкурентоспособность предприятия: проблемы теории // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2009. № 4 (4). С. 165-172.
4. Исаев А.А., Гарусова Л.Н. Конкурентоспособность продукции как фактор конкурентоспособности предприятия // Экономика и предпринимательство. 2013. № 1 (30). С. 271-273.
5. Исаев А.А., Исаева Л.А., Луговец А.А. Обеспечение конкурентоспособности морских перевозок: теоретический и методологический аспекты // Морские интеллектуальные технологии. 2017. № 4(38). Т.3. С. 139-143.
6. Исаев А.А., Исаева Л.А. Оценка конкурентоспособности судоходной компании // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 3 (49). Т. 1. С. 232-236.
7. Исаев А.А. Принятие решения о покупке: эмоциональный аспект // Практический маркетинг. 2015. № 5. С. 3-6.
8. Исаев А.А. Продажи и эмоции. М.- Берлин, 2017. 83 с.
9. Исаев А.А. Психопрограммистика. М.- Берлин, 2019. 62 с.
10. Исаев А.А. Теория принятия решения о покупке. Учебное пособие. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2020. 72 с.
11. Исаев А.А., Исаева Л.А., Сокурено В.А. Формирование системы обеспечения конкурентоспособности продукции на предприятии. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2018. 148 с.
12. Izard C.E. Human emotions. New York, Plenum Press, 1977.
13. Lilly J.C. Programming and Metaprogramming in the Human Biocomputer. Theory and Experiments. New York, Julian Press, 1967. 160 p.
14. Junge C.G. Analytical psychology: Its Theory and Practice. The Tavistock Lectures. London a. Henley, 1968.
15. Wiener N. Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. New-York, Wiley and Sons, Inc. Paris: Hermann et cie, 1948. 194 p.

References

1. Azgaldov G.G., Raihman E.P. O kvalimetrii [About qualimetry]. Moscow: Izdatelstvo standartov, 1973. 172 s.
2. Isaev A.A. Konkurentnaya sila i konkurentosposobnost predpriyatiya [Competitive strength and enterprise competitiveness]. Economy and entrepreneurship. 2012. № 3 (26). S. 125-127.
3. Isaev A.A. Konkurentosposobnost predpriyatiya: problemi teorii [Enterprise competitiveness: problems of theory]. Territory of new opportunities. Herald of the Vladivostok State University of Economics and Service. 2009. № 4 (4). S. 165-172.
4. Isaev A.A., Garusova L.N. Konkurentosposobnost produktsii kak faktor konkurentosposobnosti predpriyatiya [Product competitiveness as a factor of enterprise competitiveness]. Economy and entrepreneurship. 2013. № 1 (30). S. 271-273.
5. Isaev A.A., Isaeva L.A., Lugovets A.A. Obespechenie konkurentosposobnosti morskikh perevozok: teoreticheskiy i metodologicheskii aspekti [Ensuring the competitiveness of sea shipping: theoretical and methodological aspects]. Marine intellectual technologies. 2017. № 4 (38). Vol.3. S. 139-143.
6. Isaev A.A., Isaeva L.A. Otsenka konkurentosposobnosti sudokhodnoy kompanii [Ensuring the competitiveness of sea shipping: theoretical and methodological aspects]. Marine intellectual technologies. 2020. № 3 (49). Vol.1. S. 232-236.
7. Isaev A.A. Prinyatie resheniya o pokupke: emotsionalniy aspekt [Design to buy: emotion aspect]. Prakticheskiy marketing. 2015. № 5. S. 3-6.
8. Isaev A.A. Psihoprogrammistika [Psyprogrammistics]. Moscow- Berlin: Direct-Media, 2019. 62 s.
9. Isaev A.A. Prodazhi i emotsii [Sales and emotions]. Moscow- Berlin: Direct-Media, 2017. 83 s.
10. Isaev A.A. Teoriya prinyatiya resheniya o pokupke. Uchebnoe posobie [Decision to buy theory]. Vladivostok: Izd-vo VGUES, 2020. 72 s.
11. Isaev A.A., Isaeva L.A., Sokurenko V.A. Formirovanie sistemi obespecheniya konkurentosposobnosti produktsii na predpriyatii [Formation of a competitiveness system products at the enterprise]. Vladivostok: Izd-vo VGUES, 2018. 148 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Александр Аркадьевич Исаев, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры международного маркетинга и торговли Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, 690014, Владивосток, ул. Гоголя, 41, e-mail: isaevalex@list.ru

Alexander A. Isaev, Dr. Sci. (Econ), Ph.D. (Eng.), Professor of the Department of international marketing and trades, Vladivostok state university of economics and service, Gogolya, 41, Vladivostok, 69014, Russian Federation, e-mail: isaevalex@list.ru

Людмила Алексеевна Исаева, кандидат экономических наук, профессор, профессор кафедры экономической теории Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра 1, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9, e-mail: isaevala@list.ru

Liudmila A. Isaeva, Ph.D. (Econ), Professor, Professor of the Department of the economic theory, Emperor Alexander I Petersburg state transport universite, Moskovskiy pr., 9, St. Petersburg, 190031, Russian Federation, e-mail: isaevala@list.ru

Поступила в редакцию: 5.11.2020

Принята к публикации: 15.02.2021

УДК 330.3

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.015

Концептуальные подходы к переходу рыбной отрасли России в цифровую экономику

А.Я. Яфасов¹ e-mail: yafasov@list.ru, Н.А. Кострикова¹ e-mail: natalia.kostrikova@klgtu.ru

¹Калининградский государственный технический университет

Аннотация. Сформулированы задачи рыбной отрасли, связанные с экономической, продовольственной и общей безопасностью России, реализацией Национальной технологической инициативы и переходом национальной экономики в цифровую экономику и Индустрию 4.0. Для их решения сформулированы ключевые условия успешной цифровой трансформации отрасли, заключающиеся в развитии технологий и оборудования добычи и глубокой переработки водных биологических ресурсов, рециклинга, ускоренной цифровизации отрасли с использованием цифровых платформ, ситуационных центров, искусственного интеллекта и др. инструментов информационных технологий. Проведена оценка влияния ресурсной, технологической, продуктовой и цифровой трансформации рыбной отрасли России и новых технологий глубокой переработки морепродукции, на развитие рыбной отрасли России. За правовую базу модернизации рыбной отрасли взяты Декларация Генеральной ассамблеи ООН от 25 сентября 2015 года «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», Морская доктрина и Доктрина продовольственной безопасности России и другие нормативно-правовые акты. Новизной работы является выявление существенных условий успешности перестройки рыбной отрасли, заключающихся в обеспечении конгруэнтности всех процессов модернизации, учете изменений характеристик Мирового океана и необходимости перехода от парадигмы «Устойчивое развитие» к «Управлению, основанному на оценке рисков». Новый подход требует применения новых инструментов мониторинга, рапид-форсайтов и оценки рисков, в частности, с использованием «Цифровых двойников, следов и теней», Big Data и искусственного интеллекта. Предлагается рассматривать рыбную отрасль России как единую социально-экономическую и производственно-экологическую среду, в которой обеспечивается конгруэнтное развитие человеческого потенциала, производственной инженерно-технологической среды, киберфизических систем и информационных систем управления. Расширение и цифровое изменение бизнес-процессов в рыбной отрасли обеспечит конвергентное взаимодействие всех акторов отраслевой экономики и управления, перерастание производственных технологий в разряд эмерджентных, позволяякратно увеличить ВВП отрасли в течение 2022 - 2035 гг.

Ключевые слова. Рыбная отрасль, цифровизация, изменение бизнес-процессов, рециклинг, конгруэнтность процессов развития, ситуационные центры, индустрия 4.0.

Conceptual approaches to the transition of the Russian fishing industry into the digital economy

Abdurashid Y. Yafasov¹ e-mail: yafasov@list.ru, Natalya A. Kostrikova¹ e-mail: natalia.kostrikova@klgtu.ru

¹Kaliningrad state technical university, Kaliningrad, Russian Federation

Abstract. The tasks of the fishing industry related to the economic, food and general security of Russia, the implementation of the National Technology Initiative and the transition of the national economy to the digital economy and Industry 4.0 are formulated. To solve them, the key conditions for a successful digital transformation of the industry have been formulated, consisting in the development of technologies and equipment for the extraction and deep processing of aquatic biological resources, recycling, accelerated digitalization of the industry using digital platforms, situational centers, artificial intelligence and other tools. information technologies. An assessment was made of the impact of the resource, technological, food and digital transformation of the Russian fishing industry and new technologies for deep processing of seafood on the development of the Russian fishing industry. The legal basis for the modernization of the fishing industry was taken from the UN General Assembly Declaration of September 25, 2015 "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development", the Marine Doctrine and the Doctrine of Food Security of Russia and other regulatory legal acts. The novelty of the work is the identification of essential conditions for the success of the restructuring of the fishing industry, which consists in ensuring the congruence of all modernization processes, taking into account changes in the characteristics of the World Ocean and the need to move from the Sustainable Development paradigm to Risk-Based Management. The new approach requires the use of new monitoring tools, rapid foresight and risk assessment, in particular, using "Digital twins, traces and shadows", Big Data and artificial intelligence. It is proposed to consider the fishing industry of Russia as a single socio-economic and production-ecological environment, in which the congruent development of human potential, industrial engineering and technological environment, cyber-physical systems and information management systems is ensured. The expansion and digital change of business processes in the fishing industry will ensure the convergent interaction of all actors of the sectoral economy and management, the development of production technologies into the category of emerging technologies, allowing a multiple increase in the industry's GDP during 2022 - 2035.

Key words. Fish industry, digitalization, business process change, recycling, congruence of development processes, situational centers, industry 4.0.

Введение

Концептуальные подходы к переходу рыбной отрасли России в цифровую экономику рассматриваются авторами с двух основных позиций: необходимости осуществления стратегических перемен, связанных с революционными процессами в NBICSA (N-Nano, B-Bio, I-Info, C-Cogno, S-Socio, A-Additive) технологиях, генетике и робототехнике [1-7] и их воздействием на экологическую и социально-экономическую среду, организацию производства. При этом обращается внимание на учет глобальных проблем Мирового Океана как постоянного источника незаменимых по своим свойствам возобновляемых биологических ресурсов в интересах всего человечества и важность сохранения Океана как уникальной экосистемы, определяющей климат Земли и будущее человечества на ближайшее столетие.

Здесь необходимо выделить роль Мирового океана в решении глобальных проблем человечества: 1) борьба с голодом и обеспечение населения Земли качественным питанием; 2) стабилизация климата Земли; 3) уникальная транспортная среда, по которой сегодня перевозятся св. 70% грузов в мире; 4) среда размещения возобновляемых источников энергии и производственных систем; 5) будущая комфортная среда обитания части человечества.

В таком контексте основные направления научно-образовательно-производственно-инновационной деятельности рыбной отрасли России можно сформулировать в следующем виде:

- ❖ комплексные исследования биологических ресурсов Мирового океана и динамики их изменений;

- ❖ форсайт продукционного потенциала морских экосистем и научное обоснование условий и объемов экономически целесообразной добычи водных биологических ресурсов (ВБР);

- ❖ новые рыболовные суда, виды оборудования и технологии добычи и переработки ВБР, включая автоматизацию и роботизацию, Hi-Tech, Smart Manufacturing, Recycling, организацию новых продуктовых линий;

- ❖ обеспечение по всей технологической цепочке с момента вылова объективного контроля объемов вылова, условий хранения, транспортировки и переработки продукции, формируя сбор информации (T° , t , m , x , y) с последующим использованием Big Data [6];

- ❖ платформенные цифровые системы и среды, обеспечивающие функционирование региональных (локальных) экосистем, объединяющие:

- научно-образовательную и производственно-инновационную деятельность рыбной отрасли;

- производственно-инновационную, транспортно-логистическую системы и ритейл;

- ❖ платформенные цифровые системы управления и подготовки кадров для современной и будущей морской экономики

- ❖ новые образовательные программы (исследовательские, практикоориентированные, международные) в сфере рыбной отрасли.

Актуальность проблемы перехода рыбной отрасли России в цифровую экономику вызвана необходимостью решения комплекса общих проблем, связанных с экономической,

продовольственной и общей безопасностью России, реализацией Национальной технологической инициативы и переходом национальной экономики в цифровую экономику и Индустрию 4.0.

Краткие формулировки этих проблем в преломлении к задачам рыбной отрасли видятся следующим образом:

- получение новых знаний в физике, химии, биологии, экологии, распределении ВБР в Мировом океане как основы глубокой модернизации рыбной отрасли России;

- необходимость ресурсной, продуктовой, технологической и цифровой трансформации рыбной отрасли России в целях обеспечения решения национальных стратегических задач и конкурентоспособности страны в мировой экономике будущего;

- вовлечение в хозяйственный оборот новых видов ВБР, освоение новых районов и пространств промысла, новых технологий переработки ВБР с учетом изменений геополитической и геоэкономической ситуации, климата, антропогенного влияния на состояние ВБР в Океане, оценки рисков;

- решение прикладных проблем, связанных с экономической, продовольственной и общей безопасностью России;

- перестройка системы НИОКТР и профессионального образования в рыбной отрасли, включая создание научных и научно-образовательных центров мирового уровня (НЦМУ, НОЦ).

Ключом к решению этих проблем является конгруэнтная цифровая и технологическая модернизация рыбной отрасли с использованием NBICSA - технологий, генетики и робототехники. Как уже отмечалось ранее [6], новые технологические и цифровые решения рождают новые потребности в компетентных специалистах, подготовка и включение которых в новые производства создают предпосылки для генерации новых инженерных решений, делая тем самым самым процесс инноватики саморазвивающимся. В работах [6,7] авторами рассмотрено концептуальное представление экосистемы рыбной отрасли в цифровой экономике, условия её формирования в виде государственно-частного партнерства, способного обеспечить при определенных условиях переход от экстенсивного к интенсивному развитию. Существенным моментом предложенного в этих работах подхода является системное пространственно-производственное планирование, создание в концепте «Морская акватория – Приморская территория» сетей бизнес - единиц, объединенных в экосистемы.

Целью данной работы является оценка влияния ресурсной, технологической и цифровой трансформации рыбной отрасли России и новых технологий глубокой переработки морепродукции, на развитие рыбной отрасли России. Правовой базой модернизации рыбной отрасли являются Декларация Генеральной ассамблеи ООН от 25 сентября 2015 года «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», Морская доктрина России и Доктрина продовольственной безопасности России, Стратегии развития морской деятельности и рыбохозяйственного комплекса Российской

Федерации до 2030 года, а также ряд других нормативно-правовых актов. В работе использованы методы системного анализа, концептуального проектирования и структурного моделирования. В работе использованы методы системного анализа, концептуального проектирования и структурного моделирования.

Позиции рыбной отрасли России в добыче биологических ресурсов Мирового океана и аквакультуре

Биологические ресурсы Океана оцениваются примерно в 35 млрд т, из них на рыбу приходится 500 млн т, из которых ежегодно без ущерба для естественного воспроизводства можно вылавливать 100-120 млн т., реальные цифры в последние 5 лет колеблются в пределах 95 млн тонн со среднегодовым уловом в 2014 – 2019 гг в 92 млн тонн. На рисунке 1 представлены объемы рыболовства по 10 странам мира с наибольшими объемами производства рыбной продукции, построенные с использованием данных ФАО [8].

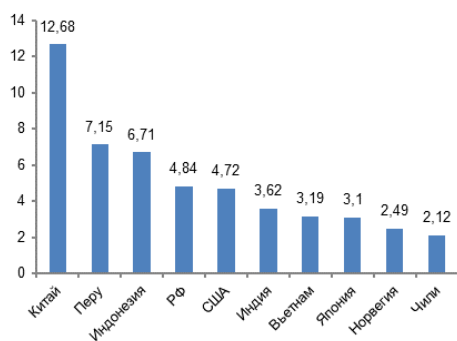


Рис. 1. Сравнительные объемы вылова рыбы по 10 странам с наибольшим уловом, в млн тонн (график построен с использованием данных ФАО [8]). Добыча (вылов) ВБР в России 2019 году без изъятия товарной аквакультуры по данным Коллегии Росрыболовства от 25 сентября 2020 года составил 4,98 млн т

Человечество по рыбодобыче близко подошло к предельным цифрам, обеспечивающим естественное воспроизводство биоресурсов Океана, причем по некоторым видам рыб Океан уже нуждается в искусственном воспроизводстве, в развитии марикультуры. В связи с этим возникают новые задачи рыбной отрасли, связанные с организацией мониторинга Мирового океана, учета изменений его характеристик, непрерывной оценки динамики изменений БР и необходимости перехода от парадигмы «Устойчивое развитие» к «Управлению, основанному на оценке рисков», которое может быть успешным при перестройке рыбной отрасли в направлении цифровой экономики. Инструменты и технологии цифровой экономики – рапид-форсайты, цифровые платформы, «Цифровые двойники», «Цифровые следы», «Цифровые тени», ситуационные центры, Big Data, искусственный интеллект и другие позволяют прогнозировать траектории развития тех или иных процессов в океане, изменения состояния биологических ресурсов, проводить оценку экологических и экономических рисков при принятии тех или иных управленческих решений. Причем могут

рассматриваться как экосистемы, так и социально-экономические и производственные системы, но лучшим обобщением было бы представление рыбной отрасли России в качестве единой социально-экономической и производственно-экологической среды, в которой обеспечивается конгруэнтное развитие человеческого потенциала, производственной инженерно-технологической цифровой среды, киберфизических систем и новых информационных систем управления.

С учетом решения сформулированных задач рост ВВП рыбной отрасли России может быть обеспечен в следующих направлениях развития:

1. освоение новых районов промысла и видов ВБР;
2. наращивание глубины переработки ВБР, диверсификация деятельности в направлении Hi-Tech;
3. рециклинг – вовлечение в хозяйственный оборот отходов переработки ВБР;
4. наращивание производства аквакультуры, товарной рыбы;
5. повышение качества продукции.

Первое направление связано с Арктикой и Антарктикой и освоением более глубоких ареалов обитания ВБР, вследствие чего требует отдельного рассмотрения, так как появляются новые задачи, связанные с новыми технологиями добычи ВБР с большой глубины Океана или работой в экстремальных условиях Арктики и Антарктики, новые типы промысловых судов и оборудования. Сегодня нет более – менее достоверных данных по экономическим показателям, рискам, воспроизводимости ресурсов, связанным с освоением новых районов (морских глубин) промысла и видов ВБР. Примерно такая же картина представляется с освоением Арктических и Антарктических районов промысла, это направление может иметь перспективу в случае резкого повышения цен на продукты питания, либо для организации питания жителей и работников будущих поселений и производств, которые могут быть размещены в Океане.

Следующие направления инновационного развития – 2, 3 и 5 соответствуют национальным целям и приоритетам Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Имеющиеся ресурсы России – интеллектуальные, природные и производственные, позволяют в короткие сроки развить эти направления глубокой трансформации рыбной отрасли, каждый из которых может дать ощутимый прирост отраслевого ВВП, причем с Hi-Tech-продукцией, конкурентоспособной на международном рынке. Соответствующие оценки по нижней границе дополнительной прибавочной стоимости приведены в работе [6], они составляют при нынешних уровнях уловов и объемах экспорта в среднем \$2.2 млрд.USA в год (расчеты проводились по данным 2015-2019гг). Верхняя граница дополнительной прибавочной стоимости зависит от глубины переработки и качества и может превышать нижнюю границу в 2-3 раза. Следует отметить, что эта разница может быть еще выше, если использовать отходы переработки и некондиционные ВБР в качестве питательной среды для выращивания полноценных заменителей рыбы,

например, филе различных видов рыб на основе клеточных технологий.

В финансовом исчислении с учетом переработки мировой объем рыбопродукции оценивается в \$350 – 400 млрд, что составляет примерно 22% от мирового рынка мяса [9]. Полноценной замены морепродуктов наука пока не нашла. Быстро нарастающее производство искусственного мяса с использованием клеточных технологий на основе специальных гелей на основе генномодифицированной сои, бобовых [9] представляет собой развитое направление, но, по мнению авторов, с точки зрения генетического воздействия на организм человека, будущих поколений имеющихся экспериментальных данных недостаточно. Если разработка различных технологий производства искусственного мяса продвинулась в последние годы значительно, так как большинство НИОКР фокусировались на разработке искусственного мяса, то культивация морепродуктов пока сравнительно малоизученная область. Принципиальным отличием производства рыбных филе разных пород рыб от искусственного мяса на основе генномодифицированной сои, бобовых является отсутствие вмешательства в генную структуру продукта, филе готовится с помощью 3D-печати с использованием натуральных гелей, полученных из натуральных ВБР с сохранением всех природных свойств белков, нутриентов и витаминов.

Естественные условия ограничения добычи морских БР, связанные с воспроизводимостью, стимулируют развитие производства товарной рыбы в искусственных условиях, они сегодня уже сравнимы с объемами морской рыбодобычи: в 2018 году производство рыбы в мире достигло 178,5 млн тонн, из них 54% – продукция рыболовства, 46% – аквакультуры; соотношение не учитывает непищевую рыбу, сырье для производства рыбьего жира и рыбной муки [8]. Производство аквакультуры животного происхождения в мире составило 82,1 млн тонн продукции, в т.ч., 54,1 млн тонн рыбы, 17,1 млн тонн моллюсков, 7,9 млн тонн ракообразных, 0,938 млн тонн других водных организмов и 30,1 млн тонн водных растений. При сохранении нынешних темпов развития аквакультуры в мире - 4,5%, его объемы уже в ближайшие два года превысят объем морской рыбодобычи. Сравнительные объемы аквакультуры – производства рыбы по 10 странам с наибольшим производством

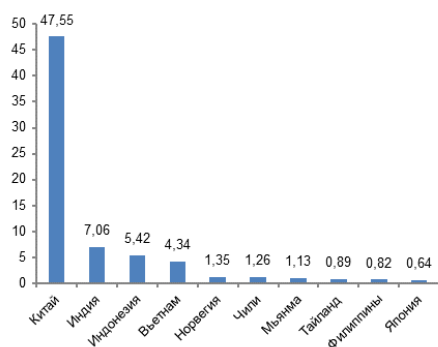


Рис.2. Сравнительные объемы аквакультуры – производства рыбы по 10 странам с наибольшим производством, в млн тонн (график построен с использованием данных ФАО [8]).

ством по состоянию на 2018 год представлены на рисунке 2.

Ведущим производителем аквакультуры является Китай, объемы производства которого превышают объемы всех остальных стран мира вместе взятых, рисунок 2. В России доля рыбодоводства пока незначительна по сравнению с объемами промышленного рыболовства: в 2020 году по предварительным данным объем производства продукции товарной аквакультуры в России составил 328,6 тыс. тонн – 6,6% в общем объеме рыбной отрасли страны, но на 15% больше, чем в 2019 году [10]. При таких темпах роста отрасль может уже к 2025 году достичь показателей, превышающих индикативные показатели Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года на 2030 год 660,9 тысяч тонн в сравнении с запланированными 618 тысячами тонн, а к 2030 году превысить их более чем вдвое -1329,4 тысяч тонн. По итогам 2020 года в пользование предоставлено более 4,5 тыс. рыбодоводных участков общей площадью свыше 550 тыс. га [10].

В целом следует отметить, что по объемам производства аквакультуры Россия занимает по состоянию на 01.01.2021 0,38% от общего объема мирового производства аквакультуры, что очень мало с учетом географии и потенциала производства оборудования для акваферм в стране. К тому же следует отметить, что пока значительная часть производства аквакультуры в России относится к малоценным видам рыб, а в торговые сети они поступают либо в живом виде, либо с минимальной переработкой.

Сложившуюся картину в рыбной отрасли России характеризует рисунок 3, на котором представлена динамика производства аквакультуры по 10 странам с наибольшим производством по состоянию на 01.01.2019 г.

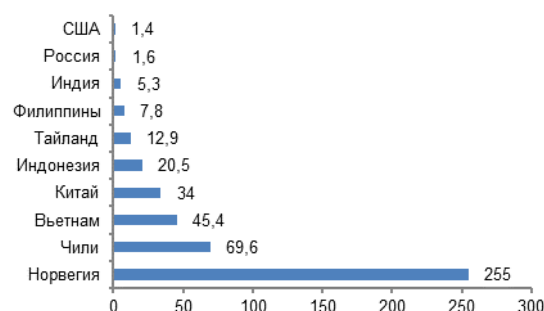


Рис.3. Объемы производства аквакультуры по 10 странам с наибольшим производством по состоянию на 2018 год, нормированные на численность населения стран, в кг/человека (график построен с использованием данных ФАО [8]).

Между тем, имеется ряд интересных разработок, внедрение которых в производство способно внести существенные коррективы в динамику развития аквакультуры в России, в частности, разработки ООО "АКВАЛ", Сколково (www.aquadigitalallife.com). В перспективе рыбная отрасль может стать одной из весомых экспортноориентированных отраслей страны на мировом рынке продуктов питания животного происхождения. Сравнение

нормированных значений общих объемов производства рыбной продукции для стран региона Балтийского и Северного морей показывает нереализованный потенциал рыбной отрасли. Норвегия производит рыбу в весовом выражении в 200 раз больше на душу населения по сравнению с Россией, Исландия – в 35 раз, Ирландия – в 7 раз, Дания – в 5 раз, Нидерланды – в 3 раза, Финляндия – в 2 раза. Сравнимые показатели имеют только Польша и Прибалтийские республики.

С быстрой цифровизацией экономики создались условия для широкомасштабного производства аква- и марикультуры на современных автоматизированных аквафермах при безусловной цифровой трансформации всей отрасли в целом. Норвегия, как отмечалось в работе [6], являющаяся мировым лидером Hi-Tech в рыбной отрасли и активно развивающая новые технологии, в 2019 году экспортировала рыбную продукцию на сумму \$11, 2 млрд, вдвое больше, чем Россия \$5,18 млрд, а долю использования отходов повысила до 84 %, - больше всех в мире.

В значительной степени успех Норвегии, как и других скандинавских стран, обеспечен организацией четкого научно-технологического взаимодействия, разностороннего профессионального образования, взаимообогащения идеями и технологиями внутри «Скандинавской сети по рециркуляционным системам аквакультуры». Сеть основана на заседании руководящего комитета в апреле 2011 года в DTU Aqua, Хиртсхальс, Дания, с участием представителей стран из Дании, Норвегии, Швеции, Финляндии и Исландии [11]. Сегодня в неё входят НИИ и университеты, предприятия промышленности, правительственные и некоммерческие организации, консалтинговые фирмы из многих стран мира от США, Израиля и Канады и до Португалии и Ирландии.

За прошедшие 10 лет она значительно расширилась. На 15 февраля 2021 года Скандинавская сеть насчитывает 167 представителей университетов и НИИ из всех частей мира и многих стран, включая Китай, Индию, США, Германию, Великобританию, Аргентину, Бразилию, Новую Зеландию, Южную Корею и др. страны. От России нет представителей, из постсоветского пространства представлены только прибалтийские республики и Армения. Не менее внушительны списки представителей промышленных предприятий и бизнеса, некоммерческих и правительственных организаций. Основной целью сети является координация и развитие НИОКТР по рециркуляционным системам аквакультуры в северных странах, но, по сути, достижения её участников распространяются на весь мир. Такая организация творческой среды не может не дать впечатляющих результатов.

С учетом значительных территориальных и энергетических возможностей, незадействованного человеческого потенциала вне крупных городов, не загруженности заводов на периферии страны имеется возможность резкого расширения производства аквакультуры в России на новом, цифровом уровне, используя большой потенциал отечественной промышленности, отечественных математиков и программистов. Российским

университетам и НИИ необходимо включаться в творческие процессы Скандинавской сети по рециркуляционным системам аквакультуры и создавать свои центры притяжения талантов в виде научных и научно-образовательных мирового уровня (НЦМУ, НОЦ), одной из функций которых была бы координация НИОКТР, организация прототипирования техники и технологий в рыбной отрасли России – самого узкого места в организации инновационных процессов в большинстве отраслей экономики России.

С ростом объемов рыболовства и развитием производства аквакультуры неизбежно растет проблема эффективной переработки добываемых и культивируемых биоресурсов, включающий глубокую переработку, переработку отходов, рециклинг, обеспечивающим переход от существующей отраслевой линейной экономики (создание, пользование, захоронение отходов) к циклической экономике и сетевым структурам и средам.

Перспективы новых технологий глубокой переработки биоресурсов, рециклинга

Отходы рыбопереработки в значительной степени зависят от вида рыбы, характеристик сырья – мороженный, неразделанный, охлажденный, потрошенный с головой, без головы, от времени года и районов промысла. В качестве примера можно привести несколько цифр, характеризующих разброс отходов при разделке различных видов рыб из "Единых норм отходов, потерь, выхода готовой продукции и расхода сырья при производстве пищевой продукции из морских гидробионтов" (утв. Госкомрыболовством РФ 29.04.2002) (http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60_924/). Для горбуши - сырца в Охотском море в июле-августе потери при разделке на филе с кожей устанавливаются в 69,2%, филе без кожи – 72%, в то время как для горбуши сырца потрошенной с головой 17,2%, а для тушки – 33,5%; для камбалы балтийской, сырца потрошенной с головой и оставлением икры и молок – 10,2%, в случае спецразделанной тушки с удалением икры и молок – 41,1%, для леща балтийского, сырца, крупного, жаброванного – 2,9%, для машинной разделки 36%, тушки спецразделки – 40,5%, минтая, сырца икрыного с Охотского моря, потрошеного обезглавленного – 40,7%, для спинки – 68,5%. То есть, разброс отходов рыбопереработки значительный и поэтому точный расчет, учет и использование интегральных потерь при переработке рыбопродукции установить сегодня невозможно, но вполне реально при цифровизации отрасли.

Сырьевая база российского сегмента отходов рыбной отрасли по экспертным оценкам составляет от 35 до 50%. Часть из нее вместе с приловом и малоценной, механически поврежденной рыбой на переработку в рыбную муку. По данным Интернет издания SOYANEWS в 2017-2019 гг в России было выработано 98 064, 113 395 и 125 528 тонн рыбной муки соответственно (http://soyaneews.info/news/za_5_mesyatsev_2020_goda_v_rossii_proizveli_64-2_tys-tonn_rybnoy_muki.html). Это примерно 8-10% от минимальной оценки ежегодного объема отходов рыбной отрасли России.

Если применить такую же оценочную пропорцию в российском сегменте отходов к состоянию рыбных

отходов в мире, то их суммарный объем с учетом производства аквакультуры по минимуму составит 63 млн тонн. То есть, решение вопроса полного сбора и переработки отходов морских биоресурсов может на десятилетия решить проблему обеспечения животной высококачественной продукцией населения мира исключая дополнительную и даже снижая техногенную нагрузку на морскую среду.

Решением вопросов глубокой переработки биоресурсов и проблем переработки отходов рыбной отрасли активно занимаются в университетах Росрыболовства, причем с привязкой к сырьевой базе своих водных бассейнов. В Астраханском государственном техническом университете проводятся исследования процессов получения биополимеров из рыбных коллагенсодержащих вторичных ресурсов, разрабатываются технологии функциональных пищевых продуктов питания на основе рыбного сырья Волжско-Каспийского бассейна, экологически чистые комбикорма по ресурсосберегающим технологиям изготовления из малоценной сорной рыбы внутренних водоемов, а также уделяют внимание технологиям поликомпонентных продуктов целевого назначения [12].

В Дальневосточном государственном техническом рыбохозяйственном университете проводятся исследования принципов создания комбинированной функциональной пищевой продукции из сырья морского генезиса, вопросов преобразования пищевых дисперсных систем в технологии продуктов из гидробионтов геродиетической направленности, на основе остатков добываемых ВБР и вторичного рыбного сырья разрабатываются технологии биополимерных композиций, имитирующих рыбные мышечные системы, обогащенные пищевыми волокнами; интересными представляются разрабатываемые технологии биологически активной продукции из отходов икорного производства [13].

В Калининградском государственном техническом университете успешно занимаются созданием протеиновых, липидных и комбинированных продуктов гидролиза вторичного рыбного и мясного сырья для комбикормов в аквакультуре. Разрабатываются рецептуры для ценных индустриальных объектов аквакультуры (лососевых, сиговых) на основе гидролиза вторичного рыбного и мясного сырья, занимаются исследованиями биопотенциала БР с целью создания функциональных продуктов питания и для профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата; значительный интерес представляет разработка функциональных напитков и пищевых коллагенсодержащих добавок на основе чешуи и кожи рыбы [14-16].

В Керченском государственном морском технологическом университете делается акцент на создание технологий обогащенных пищевых продуктов с применением макрофитов и на комплексную переработку водорослей Азово-Черноморского бассейна [17]. В Камчатском государственном техническом университете изучаются новые возможности применения комплексных экстрактов водорослей, использование гидробионтов и дикоросов в производстве пищевых продуктов, проводятся исследования по

выращиванию бурых водорослей края для восстановления естественных популяций и улучшения санитарно-экологического состояния морских акваторий [18].

Рециклинг, на примере рассмотренных технологий решает глобальные проблемы состояния биоресурсов Океана на ближайшие десятилетия, позволяя получать от 10% до 30% высококачественной продукции без дополнительного вылова, т.е. с сохранением существующих квот в мировом рыболовстве [19]. В заключении следует отметить, что на предприятиях сельского хозяйства и пищевой промышленности, занятых переработкой биопродукции животного происхождения в мире, образуются св. 200 млн/год отходов при мировом дефиците животного белка для человечества ок. 50 млн тонн/год. Фактически, не расширяя морской промысел, только за счет качественной безотходной переработки можно удовлетворить сегодняшние и будущие потребности человечества в полноценном белке животного происхождения.

Заключение

Проведена оценка влияния ресурсной, продуктовой, технологической и цифровой трансформации рыбной отрасли и новых технологий глубокой переработки морепродукции, освоение рециклинга в промышленных масштабах на развитие рыбной отрасли. Сформулированы условия успешной цифровой трансформации рыбной отрасли с учетом правовой базы, включающей Декларацию Генеральной ассамблеи ООН от 25 сентября 2015 года «Пре-образование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», Морской доктрины и Доктрина продовольственной безопасности России, Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации до 2030 года и др.

Успех цифровой и технико-технологической модернизации рыбной отрасли зависит от существенных условий, заключающихся в обеспечении 1) конгруэнтности всех процессов модернизации, 2) учете изменений характеристик Мирового океана; 3) разработке экологически безопасных технологий добычи морских биологических ресурсов и производства аквакультуры; 4) необходимости перехода от парадигмы «Устойчивое развитие» к «Управлению, основанному на оценке рисков». Новый подход требует применения новых инструментов мониторинга, рапид-форсайтов и оценки рисков, в том числе, с использованием «Цифровых двойников» «Цифровых следов» и «Цифровых теней», Big Data, ИИ и др. сфер приложения инструментов современной информатики и математического моделирования. Рыбную отрасль России необходимо рассматривать как единую социально-экономическую и производственно-экологическую среду, в которой обеспечивается конгруэнтное развитие человеческого потенциала, производственной инженерно-технологической среды, киберфизических систем и информационных систем управления. Расширение и цифровое изменение бизнес-процессов в рыбной отрасли обеспечит конвергентное взаимодействие всех акторов отраслевой экономики и управления, перерастание производственных технологий в

разряд эмерджентных [20-21] многократный рост отраслевого ВВП.

С учетом биоресурсов Океана, оцениваемых в \$6,9 трлн [22], региональные подразделения Росрыболовства имеют все возможности стать значимыми акторами в экономике приморских регионов России, создавая новые бизнес-процессы, привлекательные для инвесторов. Рыбная отрасль – одна из немногих в экономике России, способная развиваться по аналогии с компаниями – «газелями»,

быстро создавая новые рабочие места и наращивая выручку, играя роль катализатора перемен в экономике и обществе, имидже и международном статусе приморских регионов России.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «КГТУ» на 2021 год (Изучение сетевой организации рыбной отрасли региона с использованием цифровой платформы).

Литература

1. Ковальчук М. В. Наука и жизнь: моя конвергенция. Том I. М., «Академкнига», 2011, 222 с.
2. А.Моазед, Н.Джонсон. Платформа. Практическое применение революционной бизнес-модели, М.: Альпина Паблишер, 2019, 288 стр. ISBN 978-5-9614-1245-1.
3. Sh. Palit, A. Datta. Emergence of Digital Twins. Journal of Innovation Management (2017), 5, 14-34p.
4. Deloitte. Singularity University. Exponential technologies in manufacturing/ Transforming the future of manufacturing through technology, talent, and the innovation ecosystem/2018, 64 p.
5. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. NY, Crown Business, 2017, 192 p.
6. А.Я.Яфасов, А.А.Меркулов, Р.К.Поляков, Ф.Г.Майтаков. Экосистема рыбной отрасли в цифровой экономике. Морские интеллектуальные технологии / № 4 том 2, 2020/№ 4. Стр. 85- 95.
7. Ф.Г. Майтаков, А.Я.Яфасов. Концепция цифровой платформы региональной системы персонального питания. // Морские интеллектуальные технологии 2020. №.1(47), т.1. С. 176-185.
8. ФАО. 2020. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2020. Меры по повышению устойчивости. Рим, ФАО, 223 p.
9. 2019 State of the Industry Report. Cultivated Meat. The Good Food Institute, Washing-ton, 22020, 44 p.
10. И.В.Шестаков. О ходе реализации мероприятий Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. Доклад на заседании Комиссии Правительства Российской Федерации по вопросам развития рыбохозяйственного комплекса. 4 февраля 2021 года. Электронный доступ: <http://www.fishcom.ru/obiedinennaya-press-sluzhba/novosti/33026-ilya-shestakov-predstavil-doklad-ohode-realizatsii-meropriyatij-strategii-razvitiya-rybokhozyajstvennogo-kompleksa-rf-na-period-do-2030-goda>.
11. Nordic Network on Recirculating Aquaculture Systems. <https://www.nordicras.net/>.
12. Карлина Е.П., Арсланова Э.Р., Шендо М.В. Состояние и перспективы развития продовольственной системы России (на примере рыбного хозяйства). Монография, 428 С. Глава 8. Рыбохозяйственный комплекс Астраханской области в системе обеспечения продовольственной безопасности РФ // Москва: РУСАЙНС, с. 274-301.
13. Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. Перспективные научные разработки для внедрения. Электронный допуск: <https://dalrybvvtuz.ru/nauchnaya-deyatelnost/perspektivnye-nauchnye/>.
14. Балтийский Морской Форум: материалы VIII Международного Балтийского морского форума 5-10 октября 2020 года [Электронный ресурс]: в 6 томах. Т. 4. «Пищевая и морская биотехнология» IX Международная научно-практическая конференция. Электрон. дан. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020. 1 электрон. опт. Диск.
15. Vladimir V. Volkov, Olga Ya. Mezenova, Joerg-Thomas Moersel, Sascha Kuehn, Thom-as Grimm, Axel Hoehling, Sergei A. Barabanov, Kirill S. Volkov. Hydrolysis products from sock-eye (Oncorhynchus nerka L.) heads from the Kamchatka Peninsula produced by different methods: biological value, Foods and Raw Materials, 2021, vol. 9, no. 1, p. 10-18.
16. В.И.Воробьев. Использование рыбьей чешуи в косметических целях. Известия КГТУ. 2020. № 59. С. 132-140.
17. Перечень инновационных проектов и разработок ФГБОУ ВО «КГМТУ» <https://www.kgmtu.ru/nauka/perechen-innovacionnyx-proektov-i-razrabotok-fgbou-vo-kgmtu>
18. Инновационные проекты КамчатГТУ. Ресурсосберегающие технологии. <http://kamchatgtu.ru/wp-content/uploads/2017/03/Ресурсосберегающие-технологии.ppsx>.
19. Волкогон В.А. Подготовка профессиональных кадров для рыбной отрасли в условиях цифровизации экономики. Морские интеллектуальные технологии №4, 2019. с.154-159.
20. Peter H. Diamandis, Steven Kotler. The future is faster than you think: how converging technologies are transforming business, industries, and our lives. Description: New York: Simon & Schuster, 2020. ISBN 978-1-9821-0968-4 (ebook).
21. Кострикова Н.А., Майтаков Ф.Г., Яфасов А.Я. Современные тренды цифровизации экономики и перспективы их использования в морской индустрии на примере рыбохозяйственного комплекса России // Морские интеллектуальные технологии. № 4 (46) Т.4 2019. С. 126-139.
22. Hoegh-Guldberg, O. et al. 2015. Reviving the Ocean Economy: the case for action - 2015. WWF International, Gland, Switzerland, Geneva, 60 pp. ISBN 978-2-940529-18-6.

References

1. Koval'chuk M.V. Nauka I zhizn': moy konvergenciya [Science and life: my convergence]. Tom I. M., «Akademkniga», 2011, 222 s.
2. A.Moazed, N.Johnson. Platforma. Prakticheskoe primeneniye revolyucionnoy biznes modeli [Platform. Putting a revolutionary business model into practice], M.: Alpina Pablsher, 2019, 288 s. ISBN 978-5-9614-1245-1.
3. Sh. Palit, A. Datta. Emergence of Digital Twins. Journal of Innovation Management (2017), 5, 14-34p.
4. Deloitte. Singularity University. Exponential technologies in manufacturing/ Transform-ing the future of manufacturing through technology, talent, and the innovation ecosystem/2018, 64 p.
5. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. NY, Crown Business, 2017, 192 p.
6. A.Ya.Yafasov, A.A.Merkulov, R.K.Polyakov, F.G.Majtakov. Ekosistema rybnoj otrasli v cifrovoj ekonomike [Ecosystem of the fish industry in the digital economy]. Morskije intellektual'nye tehnologii / №4, tom 2, 2020/№4. S. 85-95.
7. F.G.Majtakov, A.Ya.Yafasov. Konceptsiya cifrovoj platform regional'noj sistemy personal'nogo pitaniya // Morskije intellektual'nye tehnologii 2020. №.1(47), t.1. S. 176-185.
8. FAO. 2020. Sostoyaniye mirovogo rybolovstva I akvakul'tury [The state of world fisheries and aquaculture]. 2020. Mery po povysheniyu ustojchivosti. Rim, FAO, 223 s.
9. 2019 State of the Industry Report. Cultivated Meat. The Good Food Institute, Washing-ton, 22020, 44 p.
10. I.V.Shestakov. O hode realizacii meropriyatij Strategii razvitiya rybohozyajstvennogo kompleksa Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda. Doklad na zasedanii Komissii Pravitel'stva Rossijskoj Federacii po voprosam razvitiya rybohozyajstvennogo kompleksa [On the progress in implementing the measures of the Strategy for the Development of the Fisheries Industry of the Russian Federation for the period up to 2030. Report at a meeting of the Commission of the Government of the Russian Federation on the development of the fishing industry]. 4 fevralya 2021 goda. Elektronnyj dostup: <http://www.fishcom.ru/obiedinennaya-press-sluzhba/novosti/33026-ilya-shestakov-predstavil-doklad-o-khode-realizatsii-meropriyatij-strategii-razvitiya-rybokhozyajstvennogo-kompleksa-rf-na-period-do-2030-goda>.
11. Nordic Network on Recirculating Aquaculture Systems. <https://www.nordicras.net/>.
12. E.P.Karlina, E.R.Arslanova, M.V.Shendo. Sostoyaniye I perspektivy razvitiya prodovol'stvennoj sistemy Rossii (na primere rybnogo hozyajstva) [The state and prospects for the development of the food system in Russia (on the example of fisheries)]. Monografiya, 428 S. Glava 8. Rybohozyajstvennyj kompleks Astrahanskoj oblasti v sisteme obespecheniya prodovol'stvennoj bezopasnosti RF // Moskva: RUSAJNS, s. 274-301.
13. Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj tehničeskij rybohozyajstvennyj universitet. Perspektivnye nauchnye razrabotki dlya vnedreniya [Promising scientific developments for implementation]. Elektronnyj dostup: <https://dalrybvuz.ru/nauchnaya-deyatelnost/perspektivnye-nauchnye/>.
14. Baltijskij Morskoj Forum:materialy VIII Mezhdunarodnogo Baltijskogo morskogo foruma 5-10 oktyabrya 2020 goda [Elektronnyj resurs]: v 6 tomah. T. 4. «Pish'evaya I morskaya biotekhnologiya» IX Mezhdunarodnaya nauchno-praktičeskaya konferenciya. Elektron. dan. Kaliningrad:Izd-vo BGARF FGBOU VO «KGTU», 2020. 1 elektron. opt. disk.
15. Vladimir V. Volkov, Olga Ya. Mezenova, Joerg-Thomas Moersel, Sascha Kuehn, Thom-as Grimm, Axel Hoehling, Sergei A. Barabanov, Kirill S. Volkov. Hydrolysis products from sock-eye (*Oncorhynchus nerka* L.) heads from the Kamchatka Peninsula produced by different methods: biological value, Foods and Raw Materials, 2021, vol. 9, no. 1, p. 10-18.
16. V.I.Vorob'ev. Ispol'zovaniye ryb'ej cheshui v kosmetičeskikh celyah [The use of fish scales for cosmetic purposes]. Izvestiya KGTU. 2020. № 59. S. 132-140.
17. Perechen' innovacionnyh proektov I razrabotok FGBOU VO «KGMTU» <https://www.kgmtu.ru/nauka/perechen-innovacionnyx-proektov-i-razrabotok-fgbou-vo-kgmtu>
18. Innovacionnye proekty KamchatGTU. Resursosberegayushie tehnologii. http://kamchatgtu.ru/wp-content/uploads/2017/03/Resursosberegayushie_tehnologii.ppsx.
19. V.A.Volkogon Podgotovka professional'nyh kadrov dlya rybnoj otrasli v usloviyah cifrovizacii ekonomiki [Training of professional personnel for the fishing industry in the context of the digitalization of the economy]. Morskije intellektual'nye tehnologii №4, 2019. S.154-159.
20. Peter H. Diamandis, Steven Kotler. The future is faster than you think: how converging technologies are transforming business, industries, and our lives. Description: New York: Simon & Schuster, 2020. ISBN 978-1-9821-0968-4 (ebook).
21. N.A.Kostrikova, F.G.Majtakov, A.Ya.Yafasov. Sovremennye trendy cifrovizacii ekonomiki I perspektivy ih ispol'zovaniya v morskoy industrii na primere rybohozyajstvennyjgo kompleksa Rossii [Modern trends in the digitalization of the economy and the prospects for their use in the marine industry on the example of the fishery complex of Russia] // Morskije intellektual'nye tehnologii. № 4 (46) T.4 2019. S. 126-139.
22. Hoegh-Guldberg, O. et al. 2015. Reviving the Ocean Economy: the case for action - 2015. WWF International, Gland, Switzerland, Geneva, 60 pp. ISBN 978-2-940529-18-6.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Абдурашид Яруллаевич Яфасов, доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник управления инновационной деятельности, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия, 236022, Советский проспект, 1, e-mail: yafasov@list.ru, ORCID: 0000-0002-9251-1187

Abdurashid Y. Yafasov, Dr. Sci. (Eng), Head of Innovation Management, Kaliningrad state technical university, Sovetskiy Prospect, 1, Kaliningrad, 236022, Russian Federation, e-mail: yafasov@list.ru ORCID: 0000-0002-9251-1187

Наталья Анатольевна Кострикова, кандидат физико-математических наук, доцент, проректор по научной работе, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия, 236022, Советский проспект, 1, e-mail: natalia.kostrikova@klgtu.ru, ORCID: 0000-0002-2969-0346

Natalya A. Kostrikova, Ph.D. (Phys & Math) vice-rector for research Kaliningrad state technical university, Sovetskiy Prospect, 1, Kaliningrad, 236022, Russian Federation, e-mail: natalia.kostrikova@klgtu.ru, ORCID: 0000-0002-2969-0346

Поступила в редакцию: 05.10.2020

Принята к публикации: 15.02.2021

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ

УДК 004.896

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.016

Вывод сложных суждений как инструмент понятийного мышления интеллектуальных мобильных систем

В.Б. Мелехин¹ e-mail: pashka1602@rambler.ru, М.В. Хачумов^{2,3} e-mail: khmike@inbox.ru

¹Дагестанский государственный технический университет

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии наук,

³Российский университет дружбы народов

Аннотация. Обоснована целесообразность разработки инструментальных средств автоматического формирования суждений как одного из мыслительных актов понятийного мышления интеллектуальных мобильных систем различного назначения. Применение таких средств вывода суждений позволяет сформировать недостающие для принятия решений знания в процессе планирования целенаправленного поведения в априори неопределенных условиях проблемной среды. Для решения данной проблемы в качестве исходных элементов представления знаний использованы условно – зависимые предикаты обеспечивающие возможность вывода как простых, так и сложных суждений определяющих различные закономерности целенаправленного преобразования текущих условий функционирования. Разработаны инструменты позволяющие формировать сложные суждения из простых суждений, полученных путем означивания переменных сорта «объекты» и «отношения» условно зависимых предикатов объектами, находящимися в проблемной среде и оценками отношений, которые наблюдаются в ней между данными объектами. В качестве примера показывающего эффективность использования предложенных инструментальных средств получения новых недостающих для вывода решений знаний, построен алгоритм планирования целенаправленного поведения автономного мобильного подводного робота обеспечивающий ему возможность выполнять достаточно сложные задания, связанные с поиском различных объектов, обладающих определенными свойствами и их перевозкой в заданную точку проблемной среды.

Ключевые слова: автономный интеллектуальный агент, проблемная среда, условия неопределенности, вывод сложных суждений, условно-зависимый предикат, планирование поведения.

Derivation of complex judgments as a conceptual tool thinking intelligent mobile systems

Vladimir B. Melekhin¹ e-mail: pashka1602@rambler.ru, Mikhail V. Khachumov^{2,3} e-mail: khmike@inbox.ru

¹Dagestan State Technical University, Russian Federation

²Federal Research Center "Computer Science and Control"
Russian Academy of Sciences, Russian Federation

³Peoples' Friendship University of Russia, Russian Federation

Abstract. The expediency of developing tools for automatic formation of judgments as one of the mental acts of conceptual thinking of intelligent mobile systems for various purposes has been substantiated. The use of such means of inference makes it possible to form the knowledge that is missing for decision-making in the process of planning purposeful behavior in a priori undescribed conditions of a problematic environment. To solve this problem, conditionally dependent predicates were used as the initial elements of knowledge representation, providing the ability to derive both simple and complex judgments that determine various patterns of purposeful transformation of the current conditions of functioning. Tools have been developed that allow to form complex judgments from simple judgments obtained by designating variables of the sort "objects" and "relations" of conditionally dependent predicates by objects located in a problematic environment and estimates of relations that are observed in it between these objects. As an example showing the effectiveness of using the proposed tools for obtaining new knowledge that is missing for the conclusion of solutions, an algorithm for planning the purposeful behavior of an autonomous mobile underwater robot has been built, which provides it with the ability to perform rather complex tasks related to the search for various objects with certain properties and their transportation to a given point of the problem Wednesday.

Keywords: autonomous intelligent agent, problem environment, conditions of uncertainty, derivation of complex judgments, conditionally dependent predicate, behavior planning.

Введение

Одной из актуальных и сложных проблем искусственного интеллекта является разработка различных видов мыслительных актов понятийного мышления (ПМ) [1], которые позволяют интеллектуальным мобильным системам (ИМС) выполнять сложные задания в априори неопределенных условиях проблемной среды (ПС). Это обусловлено тем, что в настоящее время мыслительные акты ПМ, позволяющие получать новые и пополнять на этой основе недостающие для вывода решений знания в

процессе планирования целенаправленного поведения в различных условиях ПС, являются слабо исследованной формой мыслительной деятельности ИМС различного назначения.

В рассматриваемом случае под ПМ следует понимать возможность получения новых знаний для вывода решений различных задач в процессе планирования целенаправленного поведения ИМС без обращения к формальному описанию закономерностей текущей ситуации ПС. Иначе говоря, когда вывод решений осуществляется ИМС на основе:

– обобщенной модели представления знаний, заданной безотносительно к конкретной предметной области и условиям функционирования;

– различных видов мыслительных актов, позволяющих устанавливать необходимые для достижения цели закономерности преобразования текущей ситуации ПС в процессе планирования целенаправленного поведения.

Целесообразность организации такой формы мышления связана с тем, что построить формальную модель закономерностей преобразования различных ситуаций реальной ПС, с уровнем детализации, позволяющим организовать эффективное планирование целенаправленного поведения ИМС, на практике не представляется возможным [2, 3].

Следует отметить, что к одному из видов мыслительных актов ПМ, обеспечивающих ИМС возможность построения недостающих для вывода решений знаний, в процессе планирования целенаправленного поведения, следует отнести автоматическое формирование как отдельных, так и сложных суждений [4], позволяющих устанавливать различные факты, отражающие закономерности преобразования текущих условий функционирования. Для решения данной проблемы в работе предлагаются процедуры вывода как отдельных, так и сложных взаимосвязанных между собой суждений на основе условно-зависимых предикатов [5, 6], позволяющих описывать отношения между объектами, которые выполняются в текущей ситуации ПС и условия необходимые для результативной отработки ИМС различных действий безотносительно к конкретной предметной области. Это, в свою очередь, наделяет ИМС возможностью формировать необходимые для вывода решений знания о закономерностях преобразования различных ситуаций априори неописанной проблемной среды, и на этой основе планировать целенаправленное поведение, обеспечивающее выполнение сформулированного ей задания.

Следует также отметить, что в общем случае предлагаемые в работе мыслительные акты ПМ могут быть использованы ИМС и для вывода

$$P_1 = \{P_{i_2}(x_{i_2}(X_{i_2}))\}, i_2 = \overline{1, n_2}, P_2 = \{P_{i_3}(\text{ИМС}, R_{j_3}^{j_1}, x_{i_3}(X_{i_3}))\}, i_3 = \overline{1, n_3}, j_3 = \overline{1, 5},$$

$$P_3 = \{P_{i_4}(\text{ИМС } R_{j_3}^{j_1}(x_{i_4}^1(X_{i_4}^1))R_{j_3}^{j_2}(x_{i_4}^2(X_{i_4}^2)))\}, i_4 = \overline{1, n_4} \text{ и т.д.}$$

Одноместные предикаты P_1 предназначены для вывода простых суждений позволяющих, например, ИМС устанавливать: обладает или нет, тот или иной объект ПС определяемым на их основе свойством P_{i_2} . Суждения, получаемые в результате означивания предметной переменной $x_{i_2}(X_{i_2})$ в предикатах $P_{i_2}(x_{i_2}(X_{i_2})) \in P_1$ произвольным объектом ПС $o_{i_1}(X_{i_1}) \in O$, являются истинными тогда и только тогда, когда для этого объекта справедливо следующее условие $X_{i_2} \subseteq X_{i_1}$.

Например, условно-зависимый предикат: «Летать при отсутствии повреждений (объект (развитые крылья и тяговый двигатель))», позволяет ИМС

решений в процессе планирования целенаправленной деятельности.

Постановка задачи

Рассмотрим проблемную среду, которую можно охарактеризовать находящимися в ней объектами

$$O = \{o_{i_1}(X_{i_1})\}, i_1 = \overline{1, n_1} \text{ и оценками } r_{j_1}^* \text{ отношений}$$

$$R = \{r_{j_1}\}, j_1 = \overline{1, m_1}, \text{ наблюдаемыми в ней между}$$

данными объектами, где X_{i_1} - множество известных АИА характеристик, определяющих $o_{i_1}(X_{i_1}) \in O$ объект ПС.

Интеллектуальная мобильная система представляет собой систему, которая обладает техническим зрением и способностью перемещаться по территории ПС. Кроме того, она оснащена манипулятором и может обрабатывать различные

действия, $B = \{b_{j_2}\}, j_2 = \overline{1, m_2}$ над объектами среды в процессе выполнения сформулированного ей задания.

Цель поведения ИМС определяется в виде задания сформулированного в естественной для человека процедурной форме представления, т.е. в виде последовательности взаимосвязанных между собой задач поведения, которые ей предстоит решить, например, в агрессивной и труднодоступной проблемной среде.

В общем случае для автоматического пополнения знаний в процессе выполнения полученного задания используются условно-зависимые предикаты различного порядка и содержания, позволяющие в соответствии с назначением ИМС решать определенный класс элементарных подзадач поведения и формировать на этой основе простые суждения, отражающие различные закономерности изменения текущих условий ПС. Например, условно-зависимые предикаты следующего вида:

определить находящиеся в ПС объекты, обладающие способностью перемещаться в воздушном пространстве.

Предикаты второго порядка P_2 позволяют выводить, например, простые суждения, устанавливающие условия, которые должны выполняться в ПС для результативной отработки ИМС действий $b_{j_2} \in B$, определяемых содержанием предикатных символов P_{i_3} . Для этого объекты ПС должны обладать характеристиками X_{i_3} предметной переменной $x_{i_3}(X_{i_3})$.

Суждения, получаемые в результате означивания предметных переменных $x_{i_3}(X_{i_3})$ в

предикатах P_{i_3} (ИМС, $R_{j_3}^{j_1}, x_{i_3}(X_{i_3})$) конкретными объектами ПС $o_{i_3}(X_{i_3}) \in O$, а переменных $R_{j_3}^{j_1}$ сорта «отношения» текущими значениями $r_{j_3}^*$ соответствующих им отношений $r_{j_3} \in R$, которые выполняются в среде между АИА и рассматриваемыми объектами, являются истинными тогда и только тогда, когда одновременно выполняются следующие условия:

$$X_{i_3} \subseteq X_{i_1} \text{ и } r_{j_3}^{j_1} \leq r_{j_3}^* \leq r_{j_3+1}^{j_1},$$

где $r_{j_3}^{j_1}, r_{j_3+1}^{j_1}$ – соответственно нижняя и верхняя границы интервала численных значений j_3 терма $R_{j_3}^{j_1}$ лингвистической переменной [7], описывающей в общем виде количественные оценки $r_{j_3}^*$

одноименного с ней j_1 отношения. Данные границы различных термов лингвистических переменных определяются, например, на основе функциональных возможностей моторной системы ИМС или разрешающей способности ее технического зрения. Так, все расстояния между объектами ПС и ИМС, при которых они могут быть захвачены рабочим органом ее манипулятора, определяются термом «расположены очень близко», а расстояния до объектов, находящиеся в ПС в пределах разрешающей способности технического зрения – термом «расположены близко» и т.д.

Наконец, трехместные предикаты:

$$P_{i_4} \text{ (ИМС } R_{j_3}^{j_1} (x_{i_4}^1(X_{i_4}^1)) R_{j_3}^{j_1} x_{i_4}^2(X_{i_4}^2)) \in P_3,$$

позволяют осуществить вывод суждений, определяющих условия ПС необходимые для отработки ИМС сложных действий, устанавливаемых по содержанию предикатного символа P_{i_4} . Например, подойти к объекту, захватить объект и переместить его на другое место.

Другими словами, предикаты данного типа позволяют ИМС определить условия, при выполнении которых в среде можно, манипулируя объектами обладающими множеством характеристик $X_{i_4}^1$, перевести их в необходимое для достижения текущей подцели поведения определенное состояние или положение по отношению к другим объектам, обладающим характеристиками $X_{i_4}^2$. Например, установить один объект на другой объект.

С помощью трехместных предикатов можно также организовать вывод суждений, позволяющих выбирать в ПС определенные объекты, обладающие характеристиками $X_{i_4}^1$ предметной переменной

$x_{i_4}^1(X_{i_4}^1)$, которые ИМС может использовать в качестве инструмента для успешной отработки определенного вида действий над объектами, удовлетворяющими требованиям предметной переменной $x_{i_4}^2(X_{i_4}^2)$ и т.д.

Использование условно-зависимых предикатов различного содержания и порядка позволяет также разработать модель представления знаний и мыслительные акты ПМ, позволяющие осуществлять вывод различных по сложности суждений путем конструирования их из простых суждений. Исходные для этого простые суждения получаются путем означивания в условно-зависимых предикатах переменных сорта «предметы» конкретными объектами $o_{i_1}(X_{i_1}) \in O$, а переменных $R_{j_3}^{j_1}$ сорта

«отношения» их оценками $r_{j_3}^*$, которые наблюдаются в ПС между данными объектами и ИМС. Затем, используя совокупность сформированных таким образом различных по сложности суждений, можно получить необходимые для вывода решений знания и построить на их основе в общем виде план целенаправленного поведения, отработка которого обеспечивает выполнение сформулированного ИМС задания.

Модель представления знаний и инструментальные средства формирования сложных суждений

Применение условно-зависимых предикатов в качестве типовых элементов представления исходных знаний, служащих для вывода простых суждений, позволяет сформировать продукционную модель генерируемых знаний, обеспечивающую возможность автоматического построения сложных суждений. Следует отметить, что полнота исходной модели представления знаний определяется множеством условно-зависимых предикатов, состав которого формируется исходя из функционального назначения ИМС таким образом, чтобы оно позволяло построить все продукции необходимые для вывода сложных суждений в процессе выполнения различных заданий, которые предстоит выполнять системе в априори неопределенных условиях ПС.

Посылки строящихся таким образом продукций определяются условно зависимыми предикатами

$$P_{j_4}, j_4 = \overline{1, m_3}, \quad P_{j_4} = P_1 \cup P_2 \cup \dots \cup P_{m_3},$$

а следствия - суждениями, которые формируются на основе этих предикатов и поступающей из ПС информации. Данные суждения $P_{j_4}^*$ в соответствии с содержанием порождающего их предиката отражают либо закономерности изменений, которые ИМС необходимо произвести в ПС для достижения текущей подцели поведения, либо понятия, описывающие свойства находящихся в среде объектов $o_{i_1}(X_{i_1}) \in O$. Например, продукции вида

$$P_{i_4}(x_4(X_{i_4})) \rightarrow P_{i_4}^*(o_{i_1}(X_{i_1} \cup P_{i_4}))$$

означают, что если для объекта ПС $o_{i_1}(X_{i_1})$ выполняется условие

$$X_{i_4} \subseteq X_{i_1},$$

то он обладает свойством P_{i_4} . Получаемые таким образом продукции на основе данных, поступающих из текущих условий ПС, позволяют сформировать сложные суждения, используя следующий метод их построения. Пусть ИМС сформировала продукцию следующего вида:

$$P_{i_4}(x_4(X_{i_4})) \rightarrow P_{i_4}^*(o_{i_1}(X_{i_1} \cup P_{i_4})),$$

а в модели её первичных знаний имеется предикат $P_{i_4+1}(\text{ИМС}, R_{j_4+1}^{j_1}, x_{i_4+1}(X_{i_4+1}))$. Тогда, если в ПС между ИМС и объектом $o_{i_1}(X_{i_1} \cup P_{i_4})$ наблюдается расстояние, равное $r_{j_1}^*$ которое удовлетворяет требованиям переменной $R_{j_4+1}^{j_1}$ этого предиката типа «отношение», а для рассматриваемого объекта выполняется условие $X_{i_4+1} \subseteq (X_{i_1} \cup P_{i_4})$, то на этой основе формируется следующее истинное суждение:

$$P_{i_4}^*(o_{i_1}(X_{i_1} \cup P_{i_4})) \& P_{i_4+1}^*(\text{ИМС}, r_{j_1}, o_{i_1}(X_{i_1} \cup P_{i_4})),$$

которое, например, означает, что объект $o_{i_1}(X_{i_1})$ имеет допустимый вес P_{i_4} и расположен от ИМС на расстоянии r_{j_1} , не превышающем рабочую зону ее манипулятора. Отсюда, например, согласно содержанию предикатного символа P_{i_4+1} , следует, что данный объект можно захватить и оторвать от земли. Здесь знак & означает логическую конъюнкцию.

Таким образом, если в полученном ИМС задании предусмотрена необходимость поменять местоположение всех находящихся в ПС объектов $o_{i_1}(X_{i_1}) \in O$, удовлетворяющих требованиям предметной переменной $x_{i_4+1}(X_{i_4+1})$, то:

а) суждения, формируемые на основе предиката первого порядка, позволяют определить в ПС все объекты, которые необходимо перенести для выполнения соответствующего подзадания общего сформулированного ИМС задания;

б) предикат второго порядка обеспечивает возможность определения условий, при выполнении которых в проблемной среде, данные объекты могут быть захвачены манипулятором ИМС, оторваны от земли, а затем перенесены в заданное местоположение.

Таким образом, для выполнения данного подзадания, входящего в структуру сформулированного ИМС общего задания, остается только определить необходимость отработки действия, продолжая построение цепочки из простых суждений, позволяющего обеспечить в ПС требования, переменной типа «отношения» предиката $P_{i_4+1}(\text{ИМС}, R_{j_4+1}^{j_1}, x_{i_4+1}(X_{i_4+1}))$.

Пример построения процедур планирования поведения ИМС на основе полученного задания и автоматического формирования суждений

Рассмотрим случай, когда процесс планирования целенаправленного поведения ИМС состоит из следующих двух этапов. На первом этапе строится дерево вывода решений в пространстве подзаданий путем автоматического редуцирования сформулированного ИМС общего задания [8]. Затем,

на втором этапе для каждого подзадания полученного на последнем шаге разбиения основного задания, на основе условно-зависимых предикатов и поступающей из системы технического зрения информации осуществляется вывод суждений, позволяющих:

- установить действия, которые ИМС необходимо отработать для его выполнения;
- определить условия, которые требуется обеспечить в ПС для успешной реализации этих действий.

Рассмотрим в качестве ИМС подводный мобильный интегральный робот – тележку с бортами, оснащенный техническим зрением и манипулятором. Пусть данный интегральный робот получил следующее задание: «Найти в заданном квадрате морского дна различные объекты, обладающие свойством P^* , которые он должен погрузить на тележку, а затем разгрузить эти объекты, доставив их к месту дислокации A , местоположение которого определено в заданной системе координат». Данное задание по входящим в него действиям робота естественным образом разбивается на следующие три, циклически выполняемые, подзадания:

- спланировать перемещение по заданному участку местности челночным способом с целью поиска различных объектов $o_{i_1}(X_{i_1}) \in O$,

обладающих свойством P^* ;

- погрузить на тележку все найденные объекты $o_{i_1}(X_{i_1} \cup P^*) \in O$;

- разгрузить объекты $o_{i_1}(X_{i_1} \cup P^*) \in O$ после прибытия в точку дислокации A .

Кроме того, интегральному роботу требуется выполнить еще одно подзадание, связанное с перемещением в точку дислокации A из точки текущего местоположения после обследования заданного участка местности и загрузки в тележку всех найденных на нем объектов $o_{i_1}(X_{i_1} \cup P^*) \in O$, обладающих свойством P^* .

Для формирования знаний необходимых для выполнения полученного роботом задания на различных этапах планирования поведения при условии, что ему априори неизвестен рельеф морского дна и координаты положения объектов $o_{i_1}(X_{i_1} \cup P^*) \in O$ необходимо, чтобы модель представления исходных знаний включала следующие условно-зависимые предикаты:

$P_1(x_1(X_1^1 \vee X_1^2 \vee \dots \vee X_1^z, P_1^*))$ – предикат позволяющий осуществить вывод суждения о том, что наблюдаемый на морском дне объект $o_{i_1}(X_{i_1}) \in O$ обладает свойством P_1^* . Здесь знаком \vee обозначена логическая дизъюнкция. Данный предикат имеет следующее содержание: «Объект ПС $o_{i_1}(X_{i_1})$ обладает свойством P_1^* , если множество его характеристик X_{i_1} включает, хотя бы одно из множеств характеристик предметной переменной $x_1(X_1^1 \vee X_1^2 \vee \dots \vee X_1^z)$ »;

$P_2(x_2(X_2))$ – предикат, позволяющий установить, что находящийся на линии движения робота объект $o_{i_i}(X_{i_i}) \in O$ является непреодолимым препятствием первого типа, т.е. имеет габаритные размеры, не позволяющие моторной системе перемещения робота преодолеть этот объект;

$P_3(x_3(X_3))$ – предикат, обеспечивающий возможность определения того, что находящийся на линии движения робота объект является непреодолимым препятствием второго типа, который расположен ниже горизонтальной плоскости его текущего местоположения, например, широкая расщелина и т.п.

$P_4(\text{ИМС}, R_4^{j_1}, x_4(X_4))$ – предикат, позволяющий установить роботу действия $b_{j_2} \in B$ позволяющие выполнить погрузку объектов ПС $o_{i_i}(X_{i_i} \cup R_{i_4}) \in O$ на тележку;

$P_5(\text{ИМС}, R_4^{j_1}, x_4(X_4))$ – предикат, позволяющий определить роботу действия $b_{j_2} \in B$, отработка которых обеспечивает выполнение в ПС условий, определяемых переменной $R_4^{j_1}$ типа «отношение» предиката $P_4(\text{ИМС}, R_4^{j_1}, x_4(X_4))$. Например, подойти к объекту на расстоянии равное разрешающей способности манипулятора;

$P_6(\text{ИМС}, R_6^{j_1}, x_4(X_4))$ – предикат, образующий суждение, определяющее цепочку действий $b_{j_2} \in B$, отработка которой позволяет роботу разгрузить объекты, находящиеся в тележке.

Для выполнения полученного задания интегральный подводный робот использует следующий представленный в общем виде алгоритм планирования целенаправленного поведения.

Входные переменные: сформулированное задание; площадь S исследуемого участка морского дна, определяемая его границами в заданной системе координат; свойство P_1 позволяющее установить в ПС подлежащие перевозке объекты, множество заданных условно - зависимых предикатов $P_{i_4}, i_4 = \overline{1,6}$.

Промежуточные переменные: наблюдаемые в ПС объекты $o_{i_i}(X_{i_i}) \in O$, основные направления движения (ОНД) на каждом этапе поведения, обрабатываемые роботом действия $b_{j_2} \in B$.

Выходные переменные: последовательность обрабатываемых в реальном времени действий $b_{j_2} \in B$, определяющая план поведения.

Метод: 1. Начало.

2. Разбить площадь S заданного участка местности на m_4 зон, ширина которых определяется разрешающей способностью технического зрения робота. Другими словами, данное разбиение

необходимо выполнить таким образом, чтобы движение вдоль ОНД, принятого вдоль границы осматриваемой зоны, позволяло бы подводному роботу осмотреть всю ее территорию. Присвоить счетчику k номера осматриваемой зоны значение, равное 1.

3. Начать движение вдоль ОНД $_k$, которое соответствует k осматриваемой зоне, идентифицируя все расположенные на ней объекты $o_{i_i}(X_{i_i}) \in O$.

4. После восприятия по ходу движения объекта $o_{i_i}(X_{i_i})$, используя первый условно-зависимый предикат сформировать суждение, позволяющее проверить условие, обладает или нет данный объект свойством P_1^* : если условие выполняется, то перейти к п. 5; в противном случае перейти к п. 6.

5. Используя предикаты:

$$P_4(\text{ИМС}, R_4^{j_1}, x_4(X_4)) \text{ и}$$

$$P_5(\text{ИМС}, R_4^{j_1}, x_4(X_4)),$$

сформировать сложное суждение позволяющее определить цепочку действий $b_{j_2} \in B$, отработка которых обеспечивает погрузку объекта $o_{i_i}(X_{i_i} \cup P_1^*)$ на тележку, перейти к п. 9.

6. Если воспринятый объект расположен на ОНД, то используя предикат $P_2(x_2(X_2))$ сформировать суждение, на основе которого можно проверить условие, является или нет данный объект непреодолимым препятствием первого типа: если условие выполняется, то перейти к п. 8; в противном случае, перейти к п. 7.

7. Используя предикат $P_2(x_2(X_2))$ сформировать суждение, на основе которого можно проверить условие, является или нет данный объект непреодолимым препятствием второго типа: если условие выполняется, то перейти к п. 8; в противном случае, перейти к п. 9.

8. Обойти препятствие по касательной со стороны осматриваемой зоны и вновь выйти на ОНД $_k$.

9. Проверить условие, k зона полностью осмотрена: если условие выполняется перейти к п. 10; в противном случае, перейти к п. 3.

10. Проверить условие, $k = m_4$: если условие выполняется, то перейти к п. 11; в противном случае $k = k + 1$; осуществить переход на противоположную границу следующей осматриваемой зоны, принять ее за ОНД $_k$, перейти к п.3.

11. Используя алгоритм планирования локально-оптимального маршрута движения [9] в ПС с препятствиями, переместиться в точку дислокации A .

12. Используя предикат:

$$P_6(\text{ИМС}, R_6^{j_1}, x_4(X_4)),$$

сформировать суждение, позволяющее определить цепочку действий $b_{j_2} \in B$, отработка которых

обеспечивает разгрузку объектов $o_i (X_i \cup P_1^*)$ находящихся в тележке.

13. Конец.

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что предложенный принцип организации одного из мыслительных актов ПМ позволяет исключить из арсенала инструментальных средств планирования поведения ИМС метод проб и ошибок, традиционно используемый в алгоритмах самообучения [10, 11] для выявления закономерностей априори неописанной ПС.

Заключение

1. Предложенные мыслительные акты ПМ, служащие для автоматического формирования суждений на основе условно-зависимых предикатов различного порядка, позволяют получать новые недостающие для вывода решений знания о закономерностях преобразования текущей ситуации проблемной среды, и на этой основе строить цепочки действий различного назначения в процессе целенаправленного поведения ИМС в условиях неопределенности.

2. Разработанный алгоритм планирования поведения, в качестве примера использования предложенных мыслительных актов ПМ, показал эффективность их применения для пополнения знаний и адаптации на этой основе ИМС к априори неописанным условиям функционирования в процессе выполнения сформулированного ей задания.

3. Дальнейшее развитие предложенных мыслительных актов понятийного мышления связано с разработкой инструментальных средств, позволяющих автоматически формировать алгоритмы планирования целенаправленного поведения на основе заданного множества типовых конструкций их построения. Множество таких конструкций, как правило, определяется классом решаемых ИМС задач, т.е. выводимыми сложными взаимосвязанными между собой суждениями, позволяющими синтезировать цепочки действий, отработка которых обеспечивает выполнение сложных подзаданий в априори неописанных условиях проблемной среды.

Дополнительная информация

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект: № 20-07-00022 А.

Additional Information

The study was carried out with partial financial support from the Russian Federal Property Fund, project: 20-07-00022 A.

Литература

1. Мелехин В.Б., Хачумов М.В. Формы мышления автономных интеллектуальных агентов: особенности и проблемы их организации // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 4 (50). Т. 1. С. 233 – 229.
2. Каляев А.В., Чернухин Ю.В., Каляев И.А. Однородные управляющие структуры адаптивных роботов. М.: Наука. 1990. 147 с.
3. Афанасьев В.Н. Динамические системы управления с неполной информацией. Алгоритмическое конструирование. М.: Editorial URSS, 2018. 215 с.
4. Егоров С.Н. Суждение. СПб.: Алаборг, 2011. 264 с.
5. Мелехин В.Б. Логика условно-зависимых рассуждений: представление знаний и правила вывода умозаключений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. №1. С 65 – 74.
6. Мелехин В.Б. Модель представления и получения новых знаний автономным интеллектуальным роботом на основе логики условно-зависимых предикатов // Известия РАН. Теория и системы управления. 2019. № 5. С. 87 – 107.
7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение для принятия приближенных решений. Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 168 с.
8. Stuart Russell, Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4 ed. Pearson, 2020, 1216 p.
9. Мелехин В.Б., Хачумов М.В. Планирование маршрута целенаправленного полета автономного летательного аппарата на низкой высоте в условиях неопределенности // Авиакосмическое приборостроение. 2018. № 1. С. 18 – 27.
10. Карпов В.Э., Карпова И.П., Кулинич А.А. Социальные сообщества роботов. М.: URSS, ООО «ЛЕНАНД», 2019. 352 с.
11. Берштейн Л.С., Мелехин В.Б. Планирование поведения интеллектуального робота. М.: Энегтоатомиздат, 1994. 240 с.

References

1. Melekhin V.B., Xachumov M.V. Formy' my'shleniya avtonomny'x intellektual'ny'x agentov: osobennosti i problemy' ix organizacii [Forms of thinking of autonomous intelligent agents: features and problems of their organization]. Morskije intellektual'ny'e texnologii [Marine Intellectual Technologies], 2020, 4 (50), V. 1, pp. 233 – 229.
2. Kalyaev A.V., Chernuxin Yu.V., Kalyaev I.A. Odnorodny'e upravlyayushhie struktury' adaptivny'x robotov [Homogeneous control structures of adaptive robots]. Moscow, Nauka, 1990, 147 p.
3. Afanas'ev V.N. Dinamicheskie sistemy' upravleniya s nepolnoj informaciej. Algoritmicheskoe konstruirovanie [Dynamic control systems with incomplete information. Algorithmic design]. Moscow.: Editorial URSS, 2018. 215 p.
4. Egorov S.N. Suzhdenie [Judgment]. Saint Petersburg, Alaborg, 2011. 264 p.

5. Melekhin V.B. Logika uslovno-zavisimy'x rassuzhdenij: predstavlenie znanij i pravila vy'voda umozaklyuchenij [The logic of conditionally dependent reasoning: knowledge representation and rules for inference]. *Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij* [Artificial intelligence and decision making], 2016, 1, pp. 65 – 74.
6. Melekhin V.B. Model' predstavleniya i polucheniya novy'x znanij avtonomny'm intellektual'ny'm robotom na osnove logiki uslovno-zavisimy'x predikatov [Model of representation and acquisition of new knowledge by an autonomous intelligent robot based on the logic of conditionally dependent predicates]. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Journal of Computer and Systems], 2019, 5, pp. 87 – 107.
7. Zade L. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ego primeneniye dlya prinyatiya priblizhenny'x reshenij [The concept of a linguistic variable and its application for making approximate decisions]. *Per. s angl. Moscow, Mir, 1976.* 168 p.
8. Stuart Russell, Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*,. 4 ed., Pearson, 2020, 1216 p.
9. Melekhin V.B., Hachumov M.V. Planirovanie marshruta celenapravlenno go poleta avtonomnogo letatel'nogo apparata na nizkoj vyso te v usloviyah neopredelennosti [Planning the route of a targeted flight of an autonomous aircraft at low altitude in conditions of uncertainty]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aviakosmicheskoe priborostroenie], 2018, 1, pp. 18 – 27.
10. Karpov V.E., Karpova I.P., Kulinich A.A., *Social'nye soobshchestva robotov* [Social communities of robots], Moscow URSS, ООО «LENAND», 2019. 352 p.
11. Bershtejn L.S., Melekhin V.B. Planirovanie povedeniya intellektual'nogo robota [Planning the behavior of an intelligent robot],. Moscow, Enegoatomizdat, 1994. 240 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Владимир Борисович Мелехин, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», Российская Федерация, 367015. Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70; E-mail: pashka1602@rambler.ru

Михаил Вячеславович Хачумов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Москва (ФИЦ ИУ РАН), 117313. г. Москва, Россия, пр. 60-летия Октября, д.9; старший преподаватель кафедры информационных технологий, ФГБОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. E-mail: khmike@inbox.ru

Vladimir B. Melekhin, Dr. Sci. (Eng), Professor, Department of Computer Software and Automated Systems, Dagestan State Technical University, 367015. Republic of Dagestan, Makhachkala, pr. Imam Shamiya, 70. E-mail: pashka1602@rambler.ru

Mikhail V. Khachumov, Ph.D. (Phys & Math), Senior Researcher, Federal Research Center "Computer Science and Control" of RAS, Russian Federation (FRC CSC RAS), 117313. pr. 60-letiya Oktyabrya, 9; Senior Lecturer of the Information Technologies Department, Peoples' Friendship University of Russia, 117198, Moscow Miklukho-Maklaya str. 6,. E-mail: khmike@inbox.ru

Поступила в редакцию: 19.11.2020
Принята к публикации: 15.01.2021

УДК: 656.001.5

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.017

Основные принципы системных исследований судна на подводных крыльях

Д.А. Скороходов^{1,2} e-mail: skorohodda@mail.ru, Ю.Е. Крылов¹ e-mail: krylov_yuriy@mail.ru,
А.Л.Стариченков² e-mail: alstar72@yandex.ru

¹Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской академии наук, ²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),

Аннотация. В статье определено, что эффективность судна на подводных крыльях раскрывается через категорию цели и объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов, а критерий эффективности является мерой достижения цели системы, который определяется на множестве показателей качества его функционирования и показателей безопасности. Показано, что в качестве математической модели необходимо использовать нелинейную модель СПК с произвольной крыльевой схемой и расчетным определением гидродинамических характеристик крыльевых устройств произвольной геометрии, движущихся вблизи раздела двух сред, а модель внешних возмущающих и управляющих воздействий необходимо задавать во временной области. Определено, что судно на подводных крыльях, как сложная техническая система, должно характеризоваться выражением, включающим множество состояний системы, входных и выходных воздействий, характеризующихся совокупностью элементов, входящих в него. Обосновано, что должны быть определены на выходе модели множество значений параметров движения судна на подводных крыльях и аргументов гидродинамических сил и моментов в текущий момент времени, множество показателей мореходности, показатели ходкости, обитаемости, управляемости, динамической устойчивости, показатели для оценки прочности элементов несущего комплекса и безопасности. Одним из основополагающих системных методологических принципов является то, что оценка эффективности всех подсистем, составляющих рассматриваемую систему – судно на подводных крыльях – требует установления динамической взаимосвязи между свойствами подсистемы, характеризующими ее качества, условиями и целью функционирования, определяемыми вышестоящей системой.

Ключевые слова: категория, крыльевое устройство, мера, момент, показатель, сила, система, судно, цель.

Basic principles of systems research hydrofoil craft

Dmitriy A. Skorokhodov^{1,2} e-mail: skorohodda@mail.ru, Yuriy E. Krylov¹ e-mail: krylov_yuriy@mail.ru,
Aleksy L. Starichenkov² e-mail: alstar72@yandex.ru

¹Institute of transport problems N.S. Solomenko of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, ²Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

Abstract. The article determines that the efficiency of a hydrofoil vessel is revealed through the category of the goal and is objectively expressed by the degree of achievement of the goal, taking into account the cost of resources, and the efficiency criterion is a measure of achieving the goal of the system, which is determined on the basis of a set of quality indicators of its functioning and safety indicators. It is shown that, as a mathematical model, it is necessary to use a nonlinear model of an SPC with an arbitrary wing pattern and a calculated determination of the hydrodynamic characteristics of wing devices of arbitrary geometry moving near the interface of two media, and the model of external disturbing and control actions must be set in the time domain. It is determined that a hydrofoil vessel, as a complex technical system, must be characterized by an expression that includes a set of system states, input and output actions, characterized by a set of elements included in it. It has been substantiated that at the output of the model, a set of the parameters of the movement of a vessel on hydrofoils and arguments of hydrodynamic forces and moments at the current moment of time, a set of seaworthiness indicators, indicators of speed, habitability, controllability, dynamic stability, indicators for assessing the strength of security. One of the fundamental systemic methodological principles is that the assessment of the effectiveness of all subsystems that make up the system under consideration - a hydrofoil vessel - requires the establishment of a dynamic relationship between the properties of the subsystem that characterize its qualities, conditions and the purpose of functioning determined by the higher system.

Keywords: category, wing device, measure, moment, indicator, force, system, vessel, target.

Введение

Если посмотреть на основные решения, принимаемых в процессе создания и эксплуатации судна на подводных крыльях (СПК), можно увидеть их разнообразие в зависимости от этапа жизненного цикла. Однако, общим является то, что во всех случаях необходимо получить, обработать и представить информацию, необходимую для принятия того или иного решения. Если на стадии эксплуатации судна такая информация в принципе может быть собрана путем экспериментирования на реальном судне, то на стадии проектирования моделирование является единственным

инструментом обоснования принимаемых решений. Источником исходной информации для исследования в этом случае служит опыт создания и эксплуатации ранее созданных объектов такого типа. Однако создание нового судна всегда предполагает получение новых потребительских, конструктивных и эксплуатационных свойств, что влечет за собой необходимость разработки моделей, сохраняющих свою адекватность за пределами ранее достигнутых диапазонов свойств объектов и стратегий их проектирования. При этом предполагается [1], что создаваемые и используемые модели воспроизводят механизмы изучаемых процессов и сами эти процессы инвариантны к изменению входных воздействий и получаемых результатов во всем

изучаемом диапазоне изменения. Развитие существующих методов моделирования, удовлетворяющих указанным требованиям и направленным на повышение эффективности и безопасности СПК, должно идти в направлении применения системных принципов исследования на всех этапах жизненного цикла судна.

1. Цели и показатели эффективности СПК, как объекта исследований

Системная методология предполагает рассмотрение СПК как сложной технической системы, создаваемой и эксплуатируемой в рамках определенных целей. Уточнение понятия цели Z является ключевым моментом формализации правил выбора, используемых при принятии решений на тех или иных этапах жизненного цикла судна. Под целью в общем случае понимается идеальное представление желаемого результата, достижимого в пределах некоторого интервала времени [1].

Применительно к судам рассматриваемого типа будем рассматривать цель Z , состоящую из двух элементов:

$$Z = \{Z_n, Z_э\}, \quad (1)$$

где $Z_n, Z_э$ – цель проектирования и цель эксплуатации.

Целью проектирования СПК Z_n является создание судна, максимально соответствующего целям эксплуатации при минимуме затрат на его проектирование и постройку. Целью эксплуатации $Z_э$ является безопасная перевозка пассажиров и грузов в заданном районе плавания с минимальными эксплуатационными расходами. Необходимо подчеркнуть, что главная цель Z судна как транспортного средства достигается только в процессе его функционирования.

Наиболее общим свойством любой целенаправленной деятельности является эффективность. Эффективность E раскрывается через категорию цели и объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов. Как и всякое свойство, эффективность обладает интенсивностью своего проявления, мера которой является показателем (критерием) эффективности. Таким образом, критерий эффективности E является мерой достижения цели системы и определяется в нашем случае как множество:

$$E = \{E_\phi, E_э\}, \quad (2)$$

где:

E_ϕ – показатель эффективности функционирования объекта (в нашем случае СПК), $E_э$ – показатель его экономической эффективности.

Данная статья посвящена вопросам системных исследований функционирования СПК как сложной технической системы и не касается вопросов экономики. Поэтому далее рассматривается процесс

и инструменты исследований, относящихся к показателю эффективности функционирования E_ϕ .

2. Структурные свойства СПК

В наиболее общем виде определение абстрактной системы [2] представляется как отношение ее входов X и выходов Y :

$$\Sigma = X \times Y \quad (3)$$

В соответствии с принятыми в работе системными методологическими принципами будем рассматривать СПК как сложную техническую систему $\Sigma_{СПК}$, включающую совокупность элементов и связей между ними, функционирующую (выполняющую определенную функцию в соответствии со своим целевым назначением) во времени и пространстве под воздействием внешней среды. Результаты функционирования системы, характеризующие воздействие на внешнюю среду, определяется ее выходами. В формальном плане представим систему $\Sigma_{СПК}$ следующей совокупностью составляющих [3]:

$$\Sigma_{СПК} = \{t, S_{СПК}, W_{СПК}, J_{СПК}\} \quad (4)$$

где:

t – время, $t \in T$,

$S_{СПК}$ – множество состояний системы,

$W_{СПК}$ – множество входных внешних воздействий (факторов), $W_{СПК} \subset W$,

$J_{СПК}$ – множество выходов,

$J_{СПК} \subset J'_{СПК}$.

Примечание – Здесь и далее индексом (X) обозначено соответствующее множество допустимых элементов (значений, параметров и т.д.) X .

Множество состояний системы $S_{СПК}$ определим как совокупность множества элементов (подсистем) Σ , связей между ними Γ и множества внутренних параметров P системы, $P \subset P'_{СПК}$:

$$S_{СПК} = \{\Sigma, \Gamma, P\}. \quad (5)$$

Совокупность элементов и связей представляет структуру системы $\sigma_{СПК} = \{\Sigma, \Gamma\}$. Как следует из теории систем [3], структура системы полностью определяет ее функциональные свойства. Выявление структуры (множества элементов системы Σ и связей между ними) производится путем ее декомпозиции, которая, в зависимости от постановки задачи исследований, может производиться на материальной или функциональной основе. В первом случае (структурная декомпозиция) множества элементов Σ и связей Γ формируются как множества материальных подсистем и соответствующих связей между ними. Функциональная декомпозиция производится путем выявления промежуточных

функций, выполнение которых необходимо для реализации целей системы. При этом функции рассматриваются вне их материального воплощения. Учитывая то, что способ декомпозиции определяет вид моделей, используемых для проведения системных исследований, вопрос декомпозиции СПК как сложной технической системы $\Sigma_{СПК}$ будет рассмотрен ниже.

Множество выходов $J_{СПК}$ – показатели, определяющие выходные характеристики системы, зависящие от входов, состояния системы и времени.

Как указано выше, цель достигается в процессе функционирования системы $\Sigma_{СПК}$, т.е. взаимодействия во времени с внешней средой. Таким образом, процесс функционирования есть отображение:

$$\Phi_{СПК}: \{S_{СПК} \times W_{СПК}\} \times T \rightarrow J_{СПК} \quad (6)$$

где $\Phi_{СПК}$ – соответствующий оператор.

Поскольку процесс функционирования СПК целенаправлен, то текущее состояние системы $S_{СПК}$ является функцией управления $U \subset U'_{СПК}$, и поэтому управления в явном виде в описание процесса функционирования не входят.

Формирование упомянутого выше показателя E_{Φ} эффективности функционирования судна является самостоятельной задачей [3], определяется целями функционирования системы, зависит от ее выходных характеристик. Он может быть представлен в скалярной или векторной форме. Применительно к рассматриваемой системе – СПК – эффективность функционирования E_{Φ} определяется на множестве показателей качества его функционирования J_{Φ} и показателей безопасности J_{β} , т.е.:

$$E_{\Phi} = E_{\Phi}(J_{СПК}), \quad (7)$$

где $J_{СПК} = \{J_{\Phi} J_{\beta}\}$.

Состав множеств, входящих в выражения (3-7) и формально описывающих СПК как сложную техническую систему $\Sigma_{СПК}$, будет рассмотрен ниже.

3. Задачи исследования, как процесса обоснования решений, связанных с обеспечением эффективности (конструктивной безопасности) СПК и его подсистем на протяжении жизненного цикла

Обоснование решений, принимаемых в обеспечение эффективности и безопасности СПК на всех этапах жизненного цикла, не может быть выполнено без проведения соответствующих исследований. Особенно важный и широкий круг исследований проводится на этапе создания СПК как сложной технической системы $\Sigma_{СПК}$. На этом этапе выбираются основные элементы $\{\Sigma, \Gamma, P\}$ множества внутренних состояний $S_{СПК}$ системы, определяющие эффективность функционирования, конструктивную безопасность и, в конечном счете, степень достижения Z_{Π} цели проектирования судна.

Как следует из теории [3], системные исследования проводятся в целях решения трех основных типов задач: анализа, синтеза системы и прогнозирования ее поведения и развития. Задачи прогнозирования больше относятся к исследованиям сложных организационно-технических (кибернетических) систем. Применительно к СПК как

технической системе основными являются первые два типа задач. Для их решения и разрабатываются соответствующий математический аппарат, алгоритмическое и программное обеспечение.

Задачи анализа СПК носят дескриптивный характер и предполагают изучение влияния структуры $\sigma_{СПК} = \{\Sigma, \Gamma\}$, внутренних параметров $P_{СПК}$ и внешних воздействий $W_{СПК}$ на выходные характеристики системы на определенном промежутке времени T .

$$J_{СПК} = \Phi_A(\sigma_{СПК}, P_{СПК}, W_{СПК}, T), \quad (8)$$

где Φ_A – оператор анализа, позволяющий исследовать процесс функционирования СПК при варьировании его внутренних и внешних характеристик ($\Phi_A \sim \Phi_{СПК}$).

Синтез системы – определение структуры и параметров, обеспечивающих достижение цели в заданных условиях функционирования:

$$\sigma_{СПК} \times P_{СПК} = \Phi_S(W_{СПК}, T). \quad (9)$$

Задачи синтеза, как правило, носят оптимизационный характер и предполагают определение структуры и параметров системы, доставляющих экстремум некоторому выбранному критерию эффективности или обеспечивающих его значения в определенных допустимых пределах при наличии ограничений на выходы системы $J_{СПК} \subset J'_{СПК}$. Поэтому проектирование системы относится к решению задач синтеза.

Современные прямые методы решения задач синтеза существенно менее развиты по сравнению с методами анализа и обеспечивают решение задачи (9) только для ограниченного типа систем (например, линейных). В связи с этим возможно решение задач синтеза с использованием операторов анализа Φ_A методом последовательных приближений. Именно такая методология используется при проектировании судов и описана в [5].

Как указывалось выше, исследования на стадии проектирования носят априорный характер и могут проводиться только путем моделирования – математического или физического. Теоретическими основами моделирования являются теория подобия и теория моделей. Теория подобия детально развита в судостроении применительно к разработке физических моделей (буксируемых и самоходных). Операторы Φ_A, Φ_S по своей сути являются соответственно моделями функционирования и проектирования системы, причем соответствующие математические модели существенно различаются по своей структуре, сложности, логике и математическому аппарату. При этом, в соответствии с одним из основных системных принципов, система может быть адекватно представлена множеством моделей, отражающих различные стороны ее сущности в зависимости от целей исследования.

По своей сути математическая модель как абстрактная система сама обладает всем комплексом системных свойств и относится к классу абстрактных систем. Следуя определению, приведенному в [3], моделирование сводится к мысленному построению образа объекта, гомоморфного по отношению к реальному и сохраняющего все существенные для целей исследования свойства реального объекта, а затем

построению абстрактной (математической) или материальной (физической) модели, изоморфной образу исследуемого объекта. Т.е. из двух систем M_1 и M_2 каждая является моделью другой, если существует такой гомоморфный образ N_1 системы M_1 и такой гомоморфный образ N_2 системы M_2 , которые изоморфны между собой. Применительно к рассматриваемой системе, состоящей из объектов t , $S_{спк}$, $W_{спк}$, и включающей операции $\Phi_{спк}$ над этими объектами (6), ее изоморфной моделью будет такая модель $\Sigma^*_{спк}$, что при отображении объектов $t \rightarrow t^*$, $S_{спк} \rightarrow S^*_{спк}$, $W_{спк} \rightarrow W^*_{спк}$, имеет место отображение $J_{спк} \rightarrow J^*_{спк}$, и наоборот, т.е. как отображение $\Sigma_{спк} \rightarrow \Sigma^*_{спк}$, так и $\Sigma^*_{спк} \rightarrow \Sigma_{спк}$ являются гомоморфизмами.

4. Выбор типа модели СПК для разработки единой среды моделирования

Поскольку математическая модель СПК относится к классу абстрактных систем, несмотря на свою специфику, процесс разработки такой модели также должен основываться на системных принципах. Исходя из этого, сформулируем основные требования к виду модели СПК как сложной системы $\Sigma_{спк}$ для создания единой среды моделирования.

1. Целью разработки является создание модели СПК, образующей единую среду моделирования как математического аппарата компьютерной технологии обеспечения конструктивной безопасности СПК и эффективности его функционирования. При этом модель должна позволить решать как задачи анализа, так и синтеза, возникающие на этапах проектирования и эксплуатации судна.

2. Разрабатываемая единая модель должна обеспечивать возможность проведения исследований как СПК в целом, так и его отдельных подсистем.

3. В соответствии с целями разработки подлежащие исследованию внутренние характеристики системы должны включать конструктивные параметры СПК и параметры основных технических систем, определяющие его структуру и влияющие на конструктивную безопасность и эффективность функционирования судна в целом как сложной системы $\Sigma_{спк}$.

4. Выходами системы $\Sigma_{спк}$ должны являться ее динамические характеристики и их статистические оценки в виде совокупности показателей качества и безопасности функционирования судна.

5. Модель системы должна отражать функционирование СПК в пространстве и времени, т.к. ряд показателей имеет размерность времени.

6. Модель должна предоставлять возможность моделирования реальных внешних воздействий, например функционирования судна в условиях реального волнения различной балльности.

7. Модель должна допускать варьирование внутренней структуры $\sigma_{спк} \subset \sigma^*_{спк}$, параметров $P_{спк} \subset P^*_{спк}$ системы $\Sigma_{спк}$ и внешних воздействий $W_{спк} \subset W^*_{спк}$ в достаточно широких пределах, что необходимо для проведения исследований на стадии проектирования судна.

С учетом изложенных требований для разработки единой среды моделирования выбираем в качестве инструмента исследований оператор анализа Φ_A (8). В качестве математической модели, раскрывающей оператор Φ_A , принимаем нелинейную динамическую модель пространственного движения СПК, произвольно маневрирующего в условиях действия нерегулярного волнения и ветровых возмущений. Структура модели предусматривает моделирование судна с произвольной крыльевой схемой и расчетным определением гидродинамических характеристик крылевых устройств произвольной геометрии, движущихся вблизи раздела двух сред. Модель внешних возмущающих и управляющих воздействий задается во временной области [4].

Выбранная модель позволяет решать задачи синтеза с применением метода последовательных приближений. С учетом введенных выше формальных описаний, проектирование СПК как процесс синтеза сложной технической системы $\Sigma_{спк}$ может быть формально представлен следующей последовательностью действий:

$$\Rightarrow \{S^*_{спк}(P) \times W^*_{спк}\} \times T^{\theta(k)} \Rightarrow \Rightarrow \Delta \theta^*(k) \Rightarrow \Rightarrow \theta(k+1) = \theta(k) \cap \theta(k+1), \quad (10) \\ k=0, 1, 2, \dots$$

где: – $\{S_{спк}(P) \times W_{спк}\} \times T^{\theta(k)}$ – процесс функционирования системы,

– индексом (Γ) обозначены соответствующие гомоморфные отображения, т.е. модель процесса функционирования,

– $\theta(k)$ – информация о функционировании системы $\Sigma_{спк}$ на k -ом шаге исследования,

– $\Delta \theta^*(k)$ – новая информация, полученная по результатам моделирования,

– $\Delta \theta(k)$ – новые знания о системе, полученные на основе $\Delta \theta^*(k)$.

Приведенные выше выражения содержательно раскрывают сущность задачи моделирования как метода получения новой информации об СПК для принятия решений на этапе проектирования и других этапах жизненного цикла с помощью оператора анализа Φ_A .

5. Формальная постановка задачи разработки математической модели СПК как сложной технической системы

Как указано выше, СПК как сложная техническая система $\Sigma_{спк}$ описывается выражением (3), включающим множество состояний системы $S_{спк}$, входных воздействий $W_{спк}$ и выходов $J_{спк}$, меняющихся во времени t . В свою очередь, в соответствии с выражением (4), множество состояний определяется совокупностью элементов Σ , связей между ними Γ и внутренних параметров P . Раскроем эти множества. В качестве элементов (подсистем) исходной системы $\Sigma_{спк}$ будем рассматривать множество $\Sigma = \{ \Sigma_k, \Sigma_{тс} \}$, где Σ_k – множество основных конструктивных элементов судна корпуса (КОРП) и гидродинамического комплекса (ГДК) $\Sigma_k = \{ \Sigma_{корп}, \Sigma_{гдк} \}$, а $\Sigma_{тс}$ – множество основных технических систем (ТС), определяющих динамические характеристики судна. В данной статье в качестве таких систем рассматриваются системы, обеспечивающие управление движением судна (СУД), т.е. $\Sigma_{тс} = \{ \Sigma_{суд}, \Sigma_{эп}, \Sigma_{ди} \}$, где $\Sigma_{суд}$ – система (системы) управления движением, $\Sigma_{эп}$ –

электрогидроприводы (ЭГП) исполнительных органов (ИО), $\Sigma_{ди}$ – датчики информации (ДИ) о положении судна в пространстве [6-9]. С учетом этого, будем рассматривать при разработке математической модели следующее множество элементов судна:

$$\Sigma = \{ \Sigma_{корп}, \Sigma_{гдк}, \Sigma_{суд}, \Sigma_{эгп}, \Sigma_{ди} \}. \quad (11)$$

Каждый элемент Σ_i определен на соответствующем множестве внутренних параметров:

$$\Sigma_i = \Sigma_i(P_i), \quad P_i \subset P'_i, \quad (12)$$

где $i \sim$ КОРП, ГДК, СУД, ЭГП, ДИ.

Рассмотрим конкретные внутренние параметры, включенные в разрабатываемую модель.

$P_{корп} = \{ P_{корп}(1) \dots P_{корп}(N_{корп}) \}$, к которым относятся: масса судна, положение центра тяжести (ЦТ) от миделя, моменты инерции, геометрия корпуса и расположение надстроек с точки зрения парусности.

$P_{гдк} = \{ P_{гдк}(1) \dots P_{гдк}(N_{гдк}) \}$, в том числе: тип компоновочной схемы (тандем, утка, самолетная схема, трехточечная схема), количество крыльевых устройств (КУ), распределение нагрузки между крыльями.

При этом для каждого КУ должно быть определено: тип крылевого устройства (глубокопогруженные, пересекающие крылья), отстояние КУ от миделя, площадь несущих элементов, удлинение крыла, характеристики профиля (типа, толщина и др.), геометрические характеристики элементов КУ (хорда, угол килеватости, стреловидности и др.), относительное заглубление, состав ИО, расположение ИО на элементах КУ, размеры (площади элементов ИО, определяющие их эффективность).

$P_{суд} = \{ P_{суд}(1) \dots P_{суд}(N_{суд}) \}$: количество и состав каналов управления, структура алгоритма управления каждого из каналов, параметры алгоритма управления каждого из каналов.

$P_{эгп} = \{ P_{эгп}(1) \dots P_{эгп}(N_{эгп}) \}$, а именно количество приводов ИО. При этом для каждого привода необходимо определить: максимальный и минимальный угол перекладки, максимальная скорость перекладки, размер зоны нечувствительности, наклон характеристики ЭГП.

$P_{ди} = \{ P_{ди}(1) \dots P_{ди}(N_{ди}) \}$: информация о наличии/отсутствии соответствующего датчика информации (гировертикали, гирокомпас, датчики заглублений КУ, угловых скоростей, вертикальных и боковых перегрузок)

В качестве внешних воздействий будем рассматривать ветро-волновые, эксплуатационные и управляющие воздействия:

$$W_{СПК} = \{ W_{волн}, W_{ветр}, W_{экспл}, W_{упр} \}, \quad (13)$$

где:

- $W_{волн}$ – регулярные/нерегулярные волновые возмущения (ВОЛН),
- $W_{ветр}$ – постоянный ветер или порыв ветра (ВЕТР),
- $W_{экспл}$ – эксплуатационные воздействия (количество пассажиров, масса и расположение груза, расход топлива и пр.) (ЭКСПЛ),

– $W_{упр}$ – внешние управляющие воздействия (ручное управление (УПР), принудительное отключение капитаном каких либо подсистем судна и пр.).

Множество внешних воздействий (факторов) также определено на множестве внешних параметров P_w , характеризующих это воздействие:

$$W_j = W_j(P_{wj}) \quad P_{wj} \subset P'_{wj}, \quad (14)$$

где $j \sim$ ВОЛН, ВЕТР, ЭКСПЛ, УПР.

В качестве внешних параметров (факторов) будем рассматривать следующие:

– $P_{волн} = \{ P_{волн}(1) \dots P_{волн}(N_{волн}) \}$, в том числе: тип волнения (регулярное/нерегулярное), высота волны (3% обеспеченности), средняя длина волны, параметры гармонического представления заданного спектра волнения, курсовой угол встречи с волной (КУВ),

– $P_{ветр} = \{ P_{ветр}(1) \dots P_{ветр}(N_{ветр}) \}$, к которым относятся: интенсивность и направление постоянного ветра по отношению к курсу судна, интенсивность и длительность порыва ветра,

– $P_{экспл} = \{ P_{экспл}(1) \dots P_{экспл}(N_{экспл}) \}$, которые вводятся в модель путем задания соответствующих дополнительных сил и моментов,

– $P_{упр} = \{ P_{упр}(1) \dots P_{упр}(N_{упр}) \}$, введение в алгоритмы управления СУД задания на перекладку соответствующих исполнительных органов (ИО), изменение связей между элементами системы.

С учетом изложенного, состояние $S_{СПК}$ моделируемой системы $\Sigma_{СПК}$ в текущий момент времени t определяется множеством $P_{СПК}$ ее внутренних P и внешних P_w параметров (факторов):

$$P_{СПК} = \{ P, P_w \}, \quad (15)$$

где множества P и P_w представлены соответственно выражениями (12), (14).

Как показано ранее, эффективность функционирования СПК $E_{ф}$ определяется на множестве показателей качества его функционирования $J_{ф}$ и показателей безопасности $J_{б}$. Указанные множества определяются совокупностью его функциональных показателей, которые характеризуют динамические свойства судна в реальных условиях плавания и в целях обеспечения безопасности должны находиться в заданных пределах. В качестве выходов системы $\Sigma_{СПК}$ будем рассматривать множество $J_{СПК}$:

$$J_{СПК} = \{ J_x, J_w, J_v, J_n, J_c, J_{st}, J_d, J_t \}, \quad (16)$$

Рассмотрим конкретные элементы множества – $J_{СПК}$ (16), которые должны быть определены на выходе модели:

– $J_x = \{ J_x(1) \dots J_x(M_x) \}$ – множество значений параметров движения судна и аргументов гидродинамических сил и моментов в текущий момент времени,

– $J_w = \{ J_w(1) \dots J_w(M_w) \}$ – множество показателей мореходности, в том числе: размахи (амплитуды) вертикальной качки 3% обеспеченности, размахи (амплитуды) килевой качки 3% обеспеченности, размахи (амплитуды) бортовой качки 3% обеспеченности,

– $J_v = \{ J_v(1) \dots J_v(M_v) \}$ – показатели ходкости, включающие: эксплуатационная и максимальная

скорость движения на тихой воде, эксплуатационная и максимальная скорость движения на расчетном и максимальном волнении, величину дополнительного сопротивления при движении на волнении, потери скорости хода на волнении,

– $J_N = \{ J_N(1) \dots J_N(M_N) \}$ – показатели обитаемости: вертикальные перегрузки 3% обеспеченности, боковые перегрузки 3% обеспеченности,

– $J_C = \{ J_C(1) \dots J_C(M_C) \}$ – показатели управляемости, в том числе: радиус циркуляции на тихой воде и волнении, угловая скорость на циркуляции, угол крена на циркуляции в условиях тихой воды и волнения,

– $J_{ST} = \{ J_{ST}(1) \dots J_{ST}(M_{ST}) \}$ – показатели динамической устойчивости как способности судна поддерживать основные параметры движения в допустимых пределах во всех эксплуатационных режимах и при переключке исполнительных органов в любом сочетании,

– $J_D = \{ J_D(1) \dots J_D(M_D) \}$ – показатели для оценки прочности элементов несущего комплекса, в том числе максимальные и средние значения сил на всех элементах несущего комплекса,

– $J_T = \{ J_T(1) \dots J_T(M_T) \}$ – показатели безопасности, характеризующие резерв времени с момента возникновения аварии до момента выхода параметров движения судна за допустимые пределы.

С учетом определенных выше множеств и выбранного вида модели, задача ее разработки для единой среды моделирования может быть формализована следующим образом.

Пусть СПК как сложная техническая система $\Sigma_{СПК}$ описывается совокупностью множеств (17):

$$\begin{aligned} \Sigma_{СПК} &= \{ T, S_{СПК}, W_{СПК}(P_W), J_{СПК} \}, \\ S_{СПК} &= \{ \Sigma, \Gamma, P \}, \\ \Sigma &= \{ \Sigma_{корп}, \Sigma_{ГДК}, \Sigma_{суд}, \Sigma_{ЭГП}, \Sigma_{ди} \}, \\ W_{СПК} &= \{ W_{волн}, W_{ветр}, W_{эспл}, W_{упр} \}, \\ J_{СПК} &= \{ J_x, J_w, J_v, J_n, J_c, J_{st}, J_d, J_t \}, \\ P_{СПК} &= \{ P, P_w \}. \end{aligned} \quad (17)$$

Функционирование судна как системы $\Sigma_{СПК}$ описывается выражением (18):

$$\{ S_{СПК}(P) \times W_{СПК}(P_w) \} \times T \Rightarrow J_{СПК}. \quad (18)$$

Требуется разработать математическую модель динамики $\Sigma^*_{СПК}$ вида (19):

$$\begin{aligned} \Sigma^*_{СПК} &= \{ T^*, S^*_{СПК}, W^*_{СПК}(P^*_w), J^*_{СПК} \}, \\ S^*_{СПК} &= \{ \Sigma^*, \Gamma^*, P^* \}, \\ \Sigma^* &= \{ \Sigma^*_{корп}, \Sigma^*_{ГДК}, \Sigma^*_{суд}, \Sigma^*_{ЭГП}, \Sigma^*_{ди} \}, \\ W^*_{СПК} &= \{ W^*_{волн}, W^*_{ветр}, W^*_{эспл}, W^*_{упр} \}, \\ J^*_{СПК} &= \{ J^*_x, J^*_w, J^*_v, J^*_n, J^*_c, J^*_{st}, J^*_d, J^*_t \}, \\ P^*_{СПК} &= \{ P^*, P^*_w \}, \end{aligned} \quad (19)$$

модель функционирования которой, описываемая выражением (20):

$$\{ S^*_{СПК}(P^*) \times W^*_{СПК}(P^*_w) \} \times T^* \Rightarrow J^*_{СПК}, \quad (20)$$

обеспечивает требование изоморфности $\Sigma_{СПК}$ и $\Sigma^*_{СПК}$, т.е. при отображении $P \rightarrow P^*, P_w \rightarrow P^*_w, S_{СПК} \rightarrow S^*_{СПК}, W_{СПК} \rightarrow W^*_{СПК}, T \rightarrow T^*$ имеет место отображение $J_{СПК} \rightarrow J^*_{СПК}$ и наоборот.

Важным требованием к математической модели являлась возможность ее использования для

исследования основных элементов (подсистем) судна. Одним из основополагающих системных методологических принципов является то, что качество функционирования системы как целенаправленного процесса может быть определено только в рамках системы более высокого уровня по сравнению к рассматриваемой. В этом смысле оценка эффективности всех подсистем, составляющих рассматриваемую систему – СПК – требует установления динамической взаимосвязи между свойствами подсистемы, характеризующими ее качества, условиями и целью функционирования, определяемыми вышестоящей системой. Рассматривая СУД как одну из основных подсистем СПК с позиций введенного выше формального определения, можно сказать, что основной целью функционирования СУД является улучшение мореходных качеств, управляемости и обитаемости судна. Эффективность ее функционирования определяется той же совокупностью показателей (16), что и эффективность судна в целом. На вход СУД подаются текущие значения параметров движения СПК, т.е. множество J^*_x . При моделировании замкнутой системы для исследования СУД может быть использована математическая модель вида (19) с варьируемыми параметрами $P^*_{суд}$ и заданными значениями остальных внутренних параметров системы $P^*_{корп}, P^*_{ГДК}, P^*_{ЭГП}, P^*_{ди}$. Тогда функционирование замкнутой системы при исследовании СУД как подсистемы СПК будет описываться выражением (21):

$$\{ S^*_{СПК}(P^*_{суд}) \times W^*_{СПК}(P^*_w) \} \times T^* \Rightarrow J^*_{СПК} = J^*_{суд}. \quad (21)$$

Заключение

Эффективность раскрывается через категорию цели и объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов. Как и всякое свойство, эффективность обладает интенсивностью своего проявления, мера которой является показателем (критерием) эффективности. Таким образом, критерий эффективности является мерой достижения цели системы. Формирование упомянутого выше показателя эффективности функционирования СПК определяется на множестве показателей качества его функционирования и показателей безопасности.

В качестве математической модели необходимо использовать нелинейную модель СПК с произвольной крыльевой схемой и расчетным определением гидродинамических характеристик крылевых устройств произвольной геометрии, движущихся вблизи раздела двух сред. Модель внешних возмущающих и управляющих воздействий необходимо задавать во временной области.

СПК, как сложная техническая система должна определяться выражением, включающим множество состояний системы, входных и выходных воздействий, характеризующихся совокупностью элементов, связей между ними и внутренними параметрами, в качестве которых следует рассматривать множество основных конструктивных элементов судна корпуса и гидродинамического комплекса, систему управление движением судна, электрогидроприводы исполнительных органов и

датчики информации о положении судна в пространстве.

Конкретные элементы множества должны быть определены на выходе модели, а именно множество значений параметров движения СПК и аргументов гидродинамических сил и моментов в текущий момент времени, множество показателей мореходности, ходкости, обитаемости, управляемости, динамической устойчивости, показатели для оценки прочности элементов несущего комплекса и безопасности.

Одним из основополагающих системных методологических принципов является то, что качество функционирования системы как целенаправленного процесса может быть определено только в рамках системы более высокого уровня по сравнению к рассматриваемой. В этом смысле оценка эффективности всех подсистем, составляющих рассматриваемую систему – СПК – требует установления динамической взаимосвязи между свойствами подсистемы, характеризующими ее качества, условиями и целью функционирования, определяемыми вышестоящей системой.

Литература

1. Целемечский В.А. Основы технической системологии. Т.1, 2. // СПб. Высшее военно-морское инженерное училище, 1996.
2. Энциклопедия кибернетики. Т.1, 2. // Киев: Гл. редакция УСЭ, 1975.
3. Мессарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. // М.: Мир, 1978.
4. А.Н.Лордкипанидзе. Поверочный расчет подводного крыла произвольной геометрии. Метод решения задачи и алгоритм программы. // Морской регистр России, НПП «Форма. С-Петербург, 1993.
5. Скороходов Д.А. Метод оценки конструктивной безопасности судов на подводных крыльях. (Д.А.Скороходов, А.Л. Стариченков, С.Н. Турусов) // Морские интеллектуальные технологии, №3(36), Т.3, 2017. Стр.48-53.
6. Скороходов Д.А. Интеллектуальные технологии для обеспечения безопасности судоходства. (Борисова Л.Ф., Скороходов Д.А., Стариченков А.Л.) // «Транспорт Российской Федерации», №1 (26), 2010. С. 32-35. Журнал ВАК РФ.
7. Скороходов Д.А. Направление информационных технологий для повышения безопасности транспортных комплексов. (Белый О.В., Гурков Р.М., Стариченков) // Транспорт Российской Федерации, №5 (18), 2008. С. 22-24. Журнал ВАК РФ.
8. Скороходов Д.А. Принципы и категории обеспечения безопасности мореплавания. (Борисова Л.Ф., Борисов З.Д., Скороходов Д.А.) // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2010. Т.13. №4-1. С.719-729. Журнал ВАК РФ.
9. Скороходов Д.А. Нормирование показателей безопасности мореплавания и рисков потерь. (Борисова Л.Ф., Борисов З.Д., Скороходов Д.А.) // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2010. Т.13. №4-2. С.868-876. Журнал ВАК РФ.

References

1. Tselemetskiy V.A. Osnovy tekhnicheskoy sistemologii. [Fundamentals of technical systemology] // Т.1, 2. – SPb. Vyssheye voyenno-morskoye inzhenernoye uchilishche, 1996.
2. Entsiklopediya kibernetiki. [Encyclopedia of Cybernetics] Т.1, 2. // – Kiyev: Gl. redaktsiya USE, 1975.
3. Messarovich M., Takakhara YA. Obshchaya teoriya sistem: matematicheskiye osnovy. [General theory of systems: mathematical foundations] // М.: Mir, 1978.
4. A.N.Lordkipanidze. Poverochnyy raschet podvodnogo kryla proizvol'noy geometrii. Metod resheniya zadachi i algoritm programmy. [Verification calculation of a hydrofoil of arbitrary geometry. Method for solving the problem and program algorithm] // Morskoy registr Rossii, NPP «Forma. S-Peterburg, 1993.
5. Skorokhodov D.A. Metod otsenki konstruktivnoy bezopasnosti sudov na podvodnykh kryl'yakh. [Method for assessing the structural safety of hydrofoils] (D.A.Skorokhodov, A.L. Starichenkov, S.N. Turusov) // Morskiye intellektual'nyye tekhnologii, №3(36), Т.3, 2017. Str.48-53.
6. Skorokhodov D.A. Intellektual'nyye tekhnologii dlya obespecheniya bezopasnosti sudokhodstva. [Intelligent technologies for safe navigation] (Borisova L.F., Skorokhodov D.A., Starichenkov A.L.) // «Transport Rossiyskoy Federatsii», №1 (26), 2010. S. 32-35. Zhurnal VAK RF
7. Skorokhodov D.A. Napravleniye informatsionnykh tekhnologiy dlya povysheniya bezopasnosti transportnykh kompleksov. [The direction of information technology to improve the safety of transport complexes] (Belyy O.V., Gurkov R.M., Starichenkov) // Transport Rossiyskoy Federatsii, №5 (18), 2008. S. 22-24. Zhurnal VAK RF.
8. Skorokhodov D.A. Printsipy i kategorii obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya. [The principles and categories of ensuring the safety of navigation] (Borisova L.F., Borisov Z.D., Skorokhodov D.A.) // Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. Т.13. №4-1. S.719-729. Zhurnal VAK RF.
9. Skorokhodov D.A. Normirovaniye pokazateley bezopasnosti moreplavaniya i riskov poter'. [Standardization of indicators of safety of navigation and risks of losses] (Borisova L.F., Borisov Z.D., Skorokhodov D.A.) // Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. Т.13. №4-2. S.868-876. Zhurnal VAK RF.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Дмитрий Алексеевич Скороходов, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук, 199178, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 12 линия, 13; профессор кафедры, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, Тел. +7(812) 321-95-68, e-mail: skorohodda@mail.ru

Юрий Евгеньевич Крылов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 199178, Санкт-Петербург, В.О. 12 линия, 13., Тел. +7(812) 321-95-68, e-mail: krylov_yuriy@mail.ru.

Алексей Леонидович Стариченков, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, Тел. +7(921) 651-44-87, e-mail: alstar72@yandex.ru

Dmitriy A. Skorokhodov, professor, Dr. Sci. (Eng), Chief researcher, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science 13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199178, Russian Federation; Professor of Department, Saint Petersburg Electrotechnical University LETI, 5, Professor Popov str., Saint-Petersburg, 197376, Russian Federation, Tel. +7(812) 321-95-68, e-mail: skorohodda@mail.ru

Yuriy E. Krylov, PhD (Eng), senior researcher, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences, 13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199178, Russian Federation. Tel. +7(812) 321-95-68, e-mail: krylov_yuriy@mail.ru.

Alexey L. Starichenkov, senior lecturer, Dr. Sci. (Eng), Head of department, Saint Petersburg Electrotechnical University LETI, 5, Professor Popov str., Saint-Petersburg, 197376, Russian Federation, Tel. +7(921) 651-44-87, e-mail: alstar72@yandex.ru

Поступила в редакцию: 15.10.2020
Принята к публикации: 10.02.2021

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 620.9:44.41.29

DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.018

Моделирование функционирования регулятора давления в топливном процессоре воздухонезависимой энергетической установки

А.В. Балакин¹ e-mail: mail@avrorasystems.com, А.Н. Дядик¹ e-mail: dyadik @rambler.ru,
А.С. Кармазин¹ e-mail: andrew.karmazin @mail.ru, М.В. Ларионов¹ e-mail: mail@avrorasystems.com,
С.Н. Сурин¹ e-mail: mail@avrorasystems.com

¹Концерн «НПО «Аврора»

Аннотация. В статье на основании упрощенной имитационной модели топливного процессора выполнены расчетные исследования в среде LabVIEW с учетом полученных экспериментальных данных. В основу структуры регулятора давления положен ПИ-регулятор с задаваемой зоной нечувствительности сигнала рассогласования заданного и фактического давления парогазовой смеси, составляющей 3 – 3,5% от величины сигнала задания. При этом коэффициенты усиления пропорциональной и интегральной составляющих управляющего сигнала устанавливаются в зависимости от значения задаваемого давления в соответствии с предложенной расчетной программой. Рассмотрена возможность использования привода регулирующего клапана без обратной связи по положению регулирующего органа. Для обеспечения требуемого качества переходных процессов по параметрам установки рекомендовано ограничивать скорость перемещения привода величиной 5 мм/мин., а формирование управляющего сигнала регулятора производить по рассогласованию между заданным и фактическим значениями давления с использованием установленной величины зоны нечувствительности 3 – 3,5%.

Ключевые слова: воздухонезависимая энергетическая установка (ВНЭУ), система автоматического управления (САУ), топливный процессор (ТП), высокотемпературный реактор (ВТР), блок очистки от серы и сажи (БО), блок конверсии (БК), сепаратор (С), регулирующий клапан (РК), датчик давления (ДД), регулятор давления (РД), привод регулирующего клапана (ПРК), ПИ-регулятор, осциллограмма.

Modeling functioning of the pressure regulator in the fuel processor of the air-independent power plant

Alexej V. Balakin¹ e-mail: mail@avrorasystems.com, Aleksander N. Dyadik¹ e-mail: dyadik @rambler.ru,
Andrej S. Karmazin¹ e-mail: andrew.karmazin @mail.ru, Mihail V. Larionov¹ e-mail: mail@avrorasystems.com,
Sergej N. Surin¹ e-mail: mail@avrorasystems.com

¹Concern Avrora Scientific and Production Association

Abstract. In the article, on the basis of a simplified simulation model of a fuel processor, computational studies are performed in the LabVIEW programming environment, taking into account the experimental data obtained. The structure of the pressure regulator is based on a PI-regulator with a set dead zone for the signal of the mismatch between the set and actual pressure of the steam-gas mixture, which is 3 – 3.5% of the value of the set signal. In this case, the gains of the proportional and integral components of the control signal are set depending on the value of the set pressure in accordance with the proposed calculation program. The possibility of using a control valve actuator without feedback by the position of the control body is considered. To ensure the required quality of transient processes according to the parameters of the plant, it is recommended to limit the speed of movement of the drive to 5 mm per min, and the formation of the control signal of the regulator is carried out by the mismatch between the set and actual pressure values using the set dead zone value of 3 – 3.5%. The results of the work are described extremely accurately and informatively. The main theoretical and experimental results, actual data, discovered relationships and regularities are presented.

Keywords: air-independent power plant, automatic control system, fuel processor, high-temperature reactor, a unit for cleaning gas from sulfur and soot, conversion unit, separator, control valve, pressure sensor, pressure regulator, control valve actuator, PI controller, oscillogram.

Введение

Статья [1] посвящена разработке упрощенной имитационной модели топливного процессора (ТП) в составе воздухонезависимых энергетических установок. Имитационная модель реализована в реальном времени в среде LabVIEW с учетом полученных экспериментальных данных. При этом произведен выбор структуры и настроечных параметров регулятора давления. На заданных режимах работы ВНЭУ при различных условиях ее использования по приведенным моделям топливного процессора, регулятора давления и привода регулирующего клапана (РК) выполнен расчет

маневров по регулированию давления. Здесь оценивалось влияние различных алгоритмов функционирования и настроечных параметров регулятора, а также привода РК на качество переходных процессов по параметрам ТП. Кроме того, рассматривалась работа регулятора давления при использовании привода без обратной связи по положению РК.

1. Выбор структуры и настроечных параметров регулятора давления

Моделирование работы регулятора давления проводилось в допущении реализации ПИ- закона регулирования, а управляемый им следящий привод

РК содержал зону линейности и зону нечувствительности.

В соответствии с [2] в первом приближении работа регулятора и привода описываются следующими уравнениями.

Регулятор давления

$$\Delta P = P_{ВТР} - P_z;$$

$$U_P = K_P \Delta P;$$

$$U_i = \int K_i \Delta P dt;$$

$$0 \leq U_i \leq 1;$$

$$U_{РЕГ} = U_P + U_i;$$

$$0 \leq U_{РЕГ} \leq 1.$$

Здесь введены следующие обозначения:

$U_{РЕГ}$, U_P , U_i – управляющий сигнал из регулятора, его пропорциональная и интегральная составляющие;

P_z – сигнал задания регулятору;

ΔP – сигнал рассогласования;

K_P, K_i – коэффициенты усиления.

Следящий привод

Характеристика следящего привода представлена на рисунке 1.

Здесь введены следующие обозначения:

$Skor$ – относительная скорость перемещения привода;

$Smax$ – максимальная относительная скорость перемещения привода;

h – относительное перемещение привода;

hz – заданное положение привода;

Del_h – сигнал рассогласования;

del_hn – половина ширины зоны нечувствительности;

$delh$ – зона линейности.

В соответствии с приведенной характеристикой, уравнения движения привода имеют следующий вид:

$$Skor = \begin{cases} Smax * sign(Del_h), & npu |Del_h| > del_hn + delh \\ 0, & npu |Del_h| < del_hn \\ Smax * sign(Del_h) * \frac{|Del_h| - del_hn}{delh}, & npu |Del_h| > del_hn \wedge |Del_h| < del_hn + delh \end{cases}$$

$$Del_h = h_z - h; \quad del = |Del_h| - del_hn; \quad \frac{dh}{dt} = Skor.$$

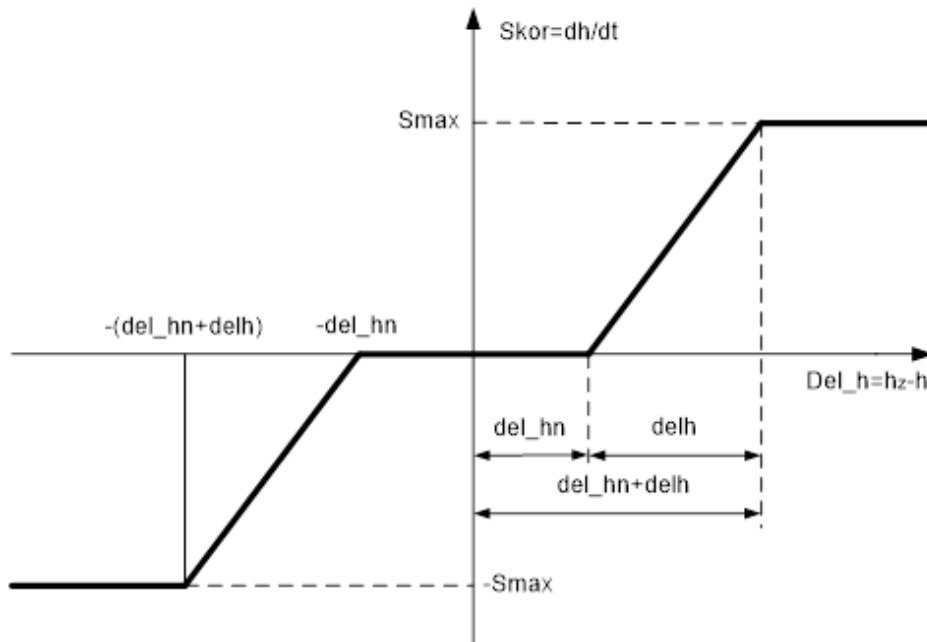


Рис. 1. Характеристика следящего привода

С использованием приведенных моделей топливного процессора, регулятора давления и привода РК проведен расчет маневров по регулированию давления на заданных режимах работы ВНЭУ при различных условиях ее работы. Отдельные результаты расчета представлены на рисунках 2 – 5. Рассматривалось влияние различных алгоритмов функционирования и настроечных параметров регулятора, а также привода РК на качество переходных процессов по параметрам ТП.

Кроме того, рассматривалась работа регулятора давления при использовании привода без обратной связи по положению РК. В этом случае управляющий сигнал от регулятора $U_{РЕГ}$ принимал три значения: 1; 0; -1 в зависимости от знака и величины сигнала рассогласования ΔP между заданным и фактическим значениями регулируемого давления. Значения параметров, представленных на рисунках, приведены в относительном виде.

На рисунках приняты следующие обозначения шлейфов: 1 – $P_{ВТР}$ давление в ВТР; 2 – $P_{БО}$ давление в блоке очистки от серы и сажи; 3 – $P_{БК1}$ давление в БК1; 4 – $P_{БК2}$ давление в БК2; 5 – P_C давление в сепараторе; 6 – P_z заданное давление; 7 – h перемещение регулирующего клапана; 8 – $G_{ВТР}^{BbIX}$ расход на выходе ВТР; 9 – $G_{БО}^{BbIX}$ расход на выходе блока очистки от серы и сажи; 10 – $G_{БК1}^{BbIX}$ расход на выходе БК1; 11 – $G_{БК2}^{BbIX}$ расход из БК2; 12 – $G_{РК}$ расход через регулирующий клапан; 13 – $P_{РК}$ давление за РК.

Каждые 100 делений на горизонтальных осях осциллограмм соответствуют 1 секунде реального времени маневра. Значения параметров на осциллограммах представлены в относительном виде.

В связи с большим числом параметров, характеризующих работу объекта управления, для удобства их рассмотрения в процессе маневрирования, осциллограммы изменения параметров для каждого маневра представлены на двух рисунках, обозначенных буквами а) и б). Для обоих рисунков изменение параметров синхронизировано во времени.

На рисунке 2 изображены переходные процессы по давлению и расходам парогазовой смеси в аккумуляторах ВНЭУ при ее запуске и маневрировании. Запуск установки ($t=0$ с) происходит при $P_{РК} = 0,45$ ($\Delta P_{РК} = 0$). В момент запуска РК закрыт (шлейф 7). Под воздействием подаваемых в ВТР компонентов ($G_{ВТР}$) происходит рост давления в аккумуляторах массы парогазовой смеси (шлейфы 1-5).

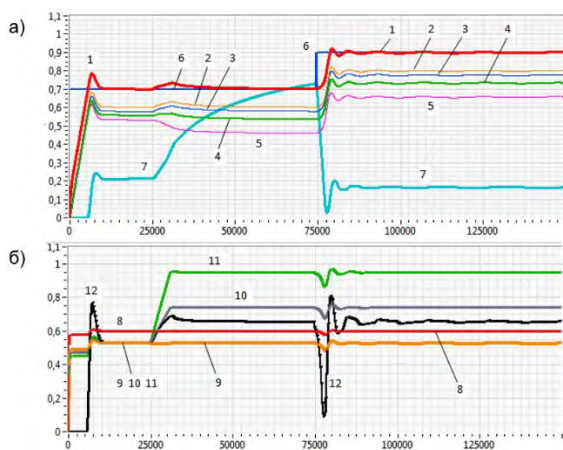


Рис. 2. а, б. Регулирование давления в ВТР при запуске и маневрировании ВНЭУ с помощью ПИ-регулятора, управляющего следящим приводом.

Изменение $G_{БК1}$ и $G_{БК2}$ происходит со скоростями 0,007 1/с. P_z изменяется скачкообразно. Давление на выходе РК постоянное: $P_{РКО} = 0,45$; $\Delta P_{РК} = 0$.

Параметры регулятора: $K_i = 0,1$; $K_p = 2$;

Параметры привода: $del_h = 0,1$; $del_{hn} = 0,01$;
 $Skor_max = 0,026$ 1/с

При достижении давлением в ВТР (шлейф 1) заданного значения $P_z = 0,7$ (шлейф 6) включается в работу ПИ-регулятор давления ($K_i = 0,1$; $K_p = 2$), производящий открытие РК с помощью следящего привода ($del_h = 0,1$; $del_{hn} = 0,01$; $Skor_max = 0,026$ 1/с).

Маневр проходит с незначительным перерегулированием по $P_{ВТР}$ (шлейф 1) и сопровождается перерегулированием по $G_{РК}$ до 0,775 от установившегося значения, равного 0,525 (шлейф 12).

В процессе маневра устанавливается постоянный расход парогазовой смеси на выходе ВТР (шлейф 8). Расходы на выходах остальных аккумуляторов меньше этого расхода на величину отбора из БО (шлейфы 9–12).

При $t=250$ с система автоматического управления ВНЭУ (САУ) производит подачу технологической воды в БК1 и БК2 со скоростями 0,007 1/с, приводящую к увеличению расходов парогазовой смеси на их выходах (шлейфы 10 и 11). Одновременно растет расход на выходе РК (шлейф 12). Маневр проходит с незначительными забросами по $P_{РК}$ и $G_{РК}$. Под воздействием ПИ-регулятора давления, открытие РК h (шлейф 7) увеличивается от 0,2 до 0,75. Это вызвано необходимостью обеспечивать расход через РК, требуемый для поддержания заданного давления в ВТР, при малом перепаде давлений на клапане вследствие уменьшения давления в БО (шлейф 5) до значения, близкого к 0,45.

При $t=750$ с САУ производит скачкообразное увеличение P_z до 0,9. Под воздействием регулятора давления происходит закрытие РК с максимальной скоростью (шлейф 7). В связи с тем, что исходное открытие клапана было достаточно большим, маневр проходит с небольшой инерционной задержкой по изменению $P_{ВТР}$ (шлейф 1) и значительным падением расхода через РК (шлейф 12) от 0,65 до 0,075 продолжительностью около 50 с. В дальнейшем расход через РК восстанавливается после нескольких колебаний с максимальным забросом до 0,8.

Отмеченное значительное изменение расхода $G_{РК}$, поступающего в систему очистки (СО) газа от CO_2 , может приводить к ухудшению качества работы СО.

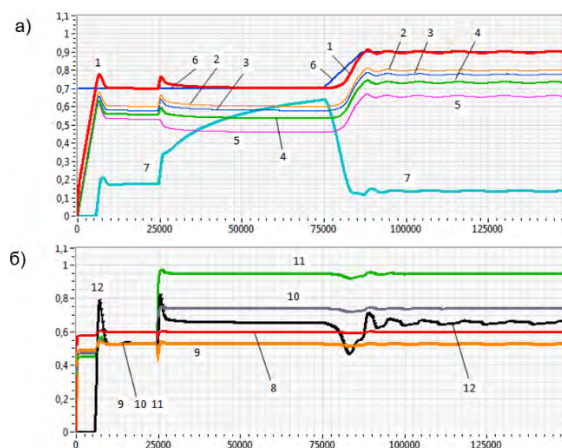


Рис. 3. а, б. Обозначения шлейфов те же, что и на рисунке 2. Изменение $G_{БК1}$ и $G_{БК2}$ происходит скачком. P_z изменяется с разверткой во времени. Давление на выходе РК постоянное: $P_{РКО} = 0,45$; $\Delta P_{РК} = 0$.

Параметры регулятора: $K_i = 0,1$; $K_p = 2$; Параметры привода: $del_h = 0,1$; $del_{hn} = 0,01$; $Skor_max = 0,026$ 1/с

На рисунке 3 представлены маневры, проходящие при тех же условиях, что и маневры, изображенные на рисунке 2, за исключением того,

что подача технологической воды в конвертеры происходит скачкообразно (шлейфы 10 и 11), а изменение сигнала задания P_z от 0,7 до 0,9 выполняется с разверткой во времени (шлейф 6). Из рисунка видно, что скачкообразная подача технологической воды вызывает значительный заброс по расходу воды на выходе из РК, который может негативно сказаться на работе СО. Поэтому при формировании законов управления подачей технологической воды в системе охлаждения конвертеров следует ограничивать скорости изменения подачи технологической воды.

Развертка во времени сигнала P_z позволяет существенно сократить размах колебаний $G_{РК}$ и может рассматриваться как один из способов улучшения качества процессов маневрирования ВНЭУ.

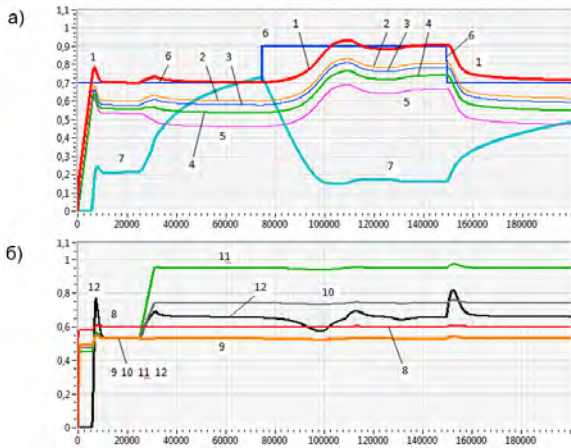


Рис. 4. а, б. Обозначение шлейфов те же, что и на рисунке 3. Параметры регулятора: в начале запуска, при $P_z=0,7$; $K_i = 0,1$; $K_p = 2$; после первого изменения P_z : $K_i = 0,015$; $K_p = 0,06$. Параметры привода: $del_h = 0,1$; $del_nn = 0,01$; $Skor_max = 0,026$ 1/c

Ограничение размаха колебаний по $G_{РК}$ при скачкообразном изменении P_z может быть достигнуто с помощью изменения настроечных параметров регулятора давления в соответствии с устанавливаемым значением P_z . Влияние такого изменения K_i и K_p на вид переходных процессов по давлению и расходам парогазовой смеси иллюстрируется рисунком 4. Из рисунка видно, что уменьшение коэффициентов K_i и K_p до указанных на рисунке значений при установлении $P_z = 0,9$ приводит к дополнительному увеличению инерционной задержки в обработке сигнала P_z по давлению $P_{ВТР}$ (шлейф 1). При этом возникают незначительные затухающие колебания по давлению. Размах колебаний по $G_{РК}$ уменьшается.

В процессе последующего изменения P_z от 0,9 до 0,7 и обратно, принятые новые значения K_i и K_p должны быть сохранены. В противном случае, при переходе на режим с $P_z = 0,7$ будут возникать продолжительные затухающие колебания параметров с большим размахом колебаний по h , $P_{ВТР}$ и $G_{РК}$.

Для сохранения новых значений K_i и K_p может быть использована следующая программа:

```
if(Pz<=0.7 && flag==0) {Ki=0.1; Kp=2;}
if(Pz>=0.9 || flag==1) {Ki=0.015; Kp=0.06; flag=1;}
```

Здесь в дополнение к ранее принятым обозначениям: *flag* – логическая переменная, обеспечивающая запоминание значений K_i и K_p , принятых после увеличения P_z от 0,7 до 0,9, при последующих изменениях P_z .

Ограничение забросов по $P_{ВТР}$ и $G_{РК}$ в процессе маневрирования при сохранении приемлемой точности поддержания $P_{ВТР}$ может быть достигнуто путем использования ПИ-регулятора давления с зоной нечувствительности, составляющей 3 – 3,5% от величины сигнала задания P_z . Маневрирование с помощью такого регулятора представлено на рисунке 5.

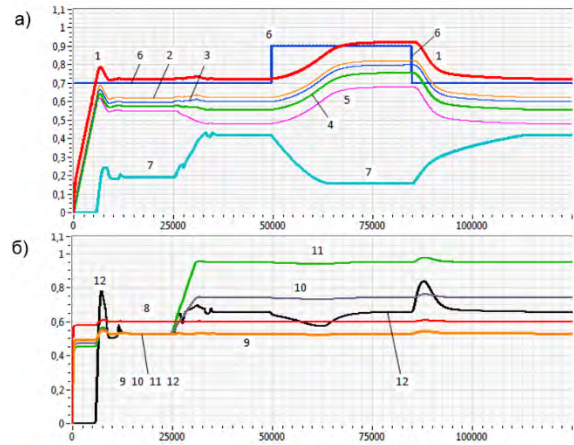


Рис. 5. а, б. Обозначения шлейфов те же, что и на рисунке 4. Используется ПИ-регулятор с зоной нечувствительности

Из приведенных осциллограмм видно, что на установившихся режимах работы ВНЭУ относительная ошибка по давлению $P_{ВТР}$ не превышает 0,025. По сравнению с маневром, проходящим с использованием ПИ-регулятора без зоны нечувствительности, представленным на рисунке 2, в рассматриваемом случае процесс изменения $P_{ВТР}$ имеет монотонный характер. Колебания $G_{РК}$ ограничены. Максимальное перерегулирование по $G_{РК}$ происходит при уменьшении P_z от 0,9 до 0,7 и имеет ту же величину, что и при маневре, представленном на рисунке 4.

Для формирования нечувствительности регулятора может быть использована следующая программа:

```
if(abs(p1-pz) / pz<0.0361) dP=0;
elsedP=(p1-pz)/20;
```

Здесь $p1$, pz – текущее и заданное значения $P_{ВТР}$; dP – сигнал ошибки.

Улучшение качества процессов маневрирования достигается при формировании управляющего сигнала регулятора с учетом зоны нечувствительности в соответствии со следующей программой:

```
dP=(p1-pz)/20;
if(abs(p1-pz)/pz<0.0361) Ureg=0;
elseUreg=sign(dP);
```

Здесь в дополнение к ранее принятым обозначениям:

U_{reg} – управляющий сигнал регулятора.

2. Программа работы регулятора давления

Реализацию работы регулятора давления в составе системы управления ВНЭУ рекомендуется проводить в соответствии с приведенной ниже программой.

```

if(abs(p1-pz)/pz<0.0361) dP=0;
else dP=(p1-pz)/20;
Up=Kp*dP;
Ui=Ui+dt*Ki*dP;
if(Ui>1) Ui=1;
if(Ui<0) Ui=0;
Ureg=Up+Ui;
if(Ureg>1) Ureg=1;
if(Ureg<0) Ureg=0;
if(Pz<=0.7 && flag==0) {Ki=0.1; Kp=2;}
if(Pz>=0.9 || flag==1) {Ki=0.015; Kp=0.06; flag=1;}
    
```

Здесь введены следующие обозначения:

dt – интервал дискретности расчета программы;
 U_{reg} , U_p , U_i – управляющий сигнал регулятора, его пропорциональная и интегральная составляющие;
 p_1 – сигнал от датчика регулируемого давления;
 dP – сигнал рассогласования между заданным и фактическим давлением;
 $flag$ – логический сигнал.

Заключение

1. Регулирование давления в ВТР может производиться с помощью установленного на выходе сепаратора регулирующего клапана, перемещаемого следящим приводом типа STMINI / типовой номер 472 при скорости его перемещения,

соответствующей 40 или 10 мм/мин. Полный ход привода 25 мм. Зону линейности привода рекомендуется обнулить.

2. В основу структуры регулятора давления положен ПИ-регулятор с задаваемой зоной нечувствительности сигнала рассогласования заданного и фактического давления парогазовой смеси, составляющей 3 – 3,5% от величины сигнала задания. При этом коэффициенты усиления пропорциональной и интегральной составляющих управляющего сигнала устанавливаются в зависимости от значения задаваемого давления в соответствии с предложенной расчетной программой.

3. Для ограничения забросов по давлению при включении подачи технологической воды в конвертеры относительные скорости изменения расходов технологической воды рекомендуется ограничивать величинами 0,13–0,007 1/с.

4. Рассмотрена возможность использования привода РК без обратной связи по положению регулирующего органа. Для обеспечения требуемого качества переходных процессов по параметрам установки рекомендовано ограничивать скорость перемещения привода величиной 5 мм/мин., а формирование управляющего сигнала регулятора производить по рассогласованию между заданным и фактическим значениями давления с использованием установленной величины зоны нечувствительности 3 – 3,5%.

5. Реализацию регулятора давления в составе системы управления ВНЭУ предложено производить с помощью представленной управляющей программы, работоспособность которой проверена на разработанной имитационной модели. Программа рекомендуется для использования при создании рабочей программы регулятора давления.

Литература

1. Балакин А.В., Богданов Д.С., Дядик А.Н., Ларионов М.В., Сурин С.Н. Системы с растворением отработавших газов воздушнонезависимых энергоустановок для морских подводных объектов. // Системы управления и обработки информации: научно-техн. сб. / АО «Концерн «НПО «Аврора» СПб. 2015. Вып. 30. С.44 – 49.
2. Берденников А.А. Моделирование и исследование динамики систем автоматического управления судовыми энергетическими установками. Издательство ОАО «Концерн «НПО «Аврора». СПб, 2014 – 352 с.

References

1. Balakin A.V., Bogdanov D.S., Dyadik A.N., Larionov M.V., Surin S.N. Sistemy s rastvoreniiem otrabotavshih gazov vozduhonezavisimyh energoustanovok dlya morskikh podvodnykh ob'ektov [Systems with dissolution of exhaust gases of air-independent power plants for maritime underwater objects]. Sistemy upravleniya i obrabotki informacii: nauchn. tekhn. sb. AO «Koncern «NPO «Avrora» SPb. 2015. Vyp. 30. pp. 44 – 49.
2. Berdennikov A.A. Modelirovanie i issledovanie dinamiki system avtomaticheskogo upravleniya sudovymi energeticheskimi ustanovkami [Modeling and research of the dynamics of automatic control systems for ship power plants]. Izdatel'stvo OAO «Koncern «NPO «Avrora». SPb, 2014, 352 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Алексей Васильевич Балакин, кандидат технических наук, зам. директора проектного центра спецтемадика – начальник отдела 731, АО «Концерн «НПО «Аврора» 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 15, e-mail: mail@avrorasystems.com

Александр Николаевич Дядик, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Теплофизических основ судовой энергетики, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 190121, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3, e-mail: dyadik@rambler.ru

Андрей Сергеевич Кармазин, инженер 3 категории, АО «Концерн «НПО «Аврора», 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 15, e-mail: andrew.karmazin@mail.ru

Ларионов Михаил Владимирович, начальник лаборатории «Моделирование и алгоритмическое обеспечение ЭУ и МРТК», АО «Концерн «НПО «Аврора», 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 15, e-mail: mail@avrorasystems.com

Сурин Сергей Николаевич, кандидат технических наук, зам. генерального директора – директор по спецтемадике и автоматизации ЯЭУ, АО «Концерн «НПО «Аврора», 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 15, e-mail: mail@avrorasystems.com

Alexej V. Balakin, Ph.D. (Eng.), deputy director project center of special subjects, head of department 731, Concern Avrora Scientific and Production Association, Karbysheva, 15, St. Petersburg 194021, Russian Federation, e-mail: mail@avrorasystems.com

Aleksander N. Dyadik, Dr. Sci. (Eng.), Professor, head of the Department of thermophysical basics of marine engineering, St. Petersburg State Marine Technical University, Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190121, Russian Federation, e-mail: dyadik@rambler.ru

Andrej S. Karmazin, engineer of the 3rd category, Concern Avrora Scientific and Production Association, Karbysheva, 15, St. Petersburg 194021, Russian Federation, e-mail: andrew.karmazin@mail.ru

Mihail V. Larionov, head of the laboratory "modeling and algorithmic support of power plants and marine robotic complexes", Concern Avrora Scientific and Production Association, Karbysheva, 15, St. Petersburg 194021, Russian Federation, e-mail: mail@avrorasystems.com

Sergej N. Surin, Ph.D.(Eng.), deputy general director, director of special subjects and automation of nuclear power plants, Concern Avrora Scientific and Production Association, Karbysheva, 15, St. Petersburg 194021, Russian Federation, e-mail: mail@avrorasystems.com

Поступила в редакцию: 30.09.2020

Принята к публикации: 10.02.2021

УДК 639.2.081, 66.012, 621.337.1, 550.34.01, 004.032.26 DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.019

Создание правил мультифизического подобия тралового комплекса

А.А. Недоступ¹ e-mail: nedostup@klgtu.ru, А.О. Ражев¹ e-mail: progacpp@live.ru

¹Калининградский государственный технический университет

Аннотация. В настоящее время одной из самых важных прикладных отраслей является промышленное рыболовство. С развитием рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации встает задача обработки больших данных (это прогноз промысла, эксплуатация орудий рыболовства, поведение гидробионтов и т.д.). В данной статье рассмотрены первые шаги для создания математической базы и правил мультифизического подобия тралового комплекса для разработки методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования. Для решения поставленной задачи осуществлено физическое моделирование процессов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования. Спрогнозировать работу тралового комплекса, а именно трала в сложной ситуации (штормовые условия, боковые течения, аварийная ситуация) или установить график работы систем управления, предвидеть поведение гидробионтов в зоне действия трала - для решения этих и многих других задач возможно использовать предсказательное моделирование. В данной статье приводятся масштабы подобия величин - математической базы для выполнения динамического подобия сложной технической системы - разноглубинного трала и рыболовного судна (судно-трал).

Ключевые слова: мультифизическое моделирование, масштабы, траловый комплекс, компьютерная программа

Creation of the rules of multiphysical similarity by a trawl complex

Alexander A. Nedostup¹ e-mail: nedostup@klgtu.ru, Aleksey O. Razhev¹ e-mail: progacpp@live.ru

¹Kaliningrad State Technical University

Abstract. Currently, one of the most important applied industries is commercial fishing. With the development of the fishery complex of the Russian Federation, the challenge arises of processing large data (this is the forecast of fishing, the exploitation of fishing gears, the behavior of hydrobionts, etc.). This article discusses the first steps to create a mathematical base and rules of multiphysical modeling to the trawl complex to develop methods for controlling the trawl complex using predictive modeling on a trawl complex. To solve this problem, we synthesized physical modeling of the control processes of the trawl complex using predictive modeling. Predict the operation of the trawl complex, namely the trawl in a difficult situation (storm conditions, side currents, emergency), or establish a schedule for the control systems, anticipate the behavior of hydrobionts in the area of the trawl's action - it is possible to use predictive modeling to solve these and many other problems. This article presents the scale of similarity of physical quantities - the mathematical base for performing dynamic similarity of a complex technical system - a deep-sea trawl and a fishing vessel (trawl vessel).

Keywords: multiphysical modeling, scales, trawl complex, computing program

Введение

Для разработки методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования необходимо осуществить физическое [1], математическое [2,3] и компьютерное моделирование процессов [2,3], а именно выполнить физическое и мультифизическое моделирование, и минимизировать величины масштабных эффектов. Спрогнозировать работу тралового комплекса (см. рис. 1), а именно трала в сложной ситуации (штормовые условия, боковые течения, аварийная ситуация) или установить график работы систем управления (автотрал), предвидеть поведение гидробионтов в зоне действия трала - для решения этих и многих других задач используют предсказательное моделирование [4]. В данной статье приводятся масштабы подобия физических величин - математической базы для выполнения динамического подобия сложной технической системы - разноглубинного трала и рыболовного судна (судно-трал). В ситуации с эксплуатацией разноглубинных и донных тралов бывает, что смоделировать ту или иную промысловую обстановку крайне сложно. Необходимо сопоставлять слишком много критериев или данных между собой. Чтобы учесть все варианты тралового промысла, не хватает данных. Модель можно

построить, но крайне проблематично настроить ее по существующим данным. И в этом случае помогают методы предсказательного моделирования и мультифизического моделирования [1]. Обнаружение, отслеживание и прогнозирование движения объектов являются фундаментальными проблемами в области компьютерного зрения, а предсказание их взаимодействий - критической задачей для самообучающихся автоматических и полуавтоматических систем управления траловым комплексом.

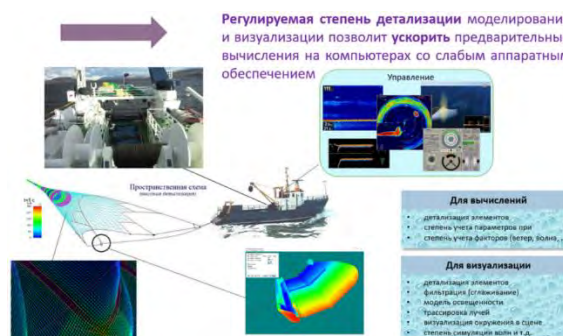


Рис. 1. Разноглубинный траловый комплекс (судно - трал)

Большинство существующих методов предсказательного моделирования мультифизических процессов опирается на большие наборы данных, промаркированных вручную [4]. Разработка методов, способных предсказывать перемещение без меток имеет приложения в задачах распознавания действий и прогнозировании, а также, при изучении предсказательной модели, которая затем может быть использована для планирования и принятия решений. Однако, обучение предсказанию физических явлений ставит перед нами множество задач, так как реальные физические явления в реальном мире не всегда могут быть описаны математически. Взаимодействия, как правило, являются сложными и стохастическими, и обучение требует предварительной обработки входных, выходных и промежуточных данных в реальном времени.

Прогнозирование движения траловой системы в контексте физического взаимодействия является ключевым строительным блоком интеллектуальной интерактивной системы управления траловым ловом и может позволить осуществлять лов как в полностью автоматическом режиме, так и в полуавтоматическом, оперативно предоставляя добытчикам гидробионтов различные варианты будущего развития событий, основываясь на доступных действиях.

Такой механизм может быть использован для планирования действий по достижению поставленной цели и по мнению авторов позволит увеличить эффективность и экологичность лова.

1. Цель и задачи

Теория подобия включает определения, теоремы, следствия из них. Критерии подобия являются неотъемлемой частью соблюдения правил подобия, выполнимость масштабов подобия с заданной точностью и выполнимость с заданной величиной масштабного эффекта является первостепенной задачей физического моделирования [1].

В данном научном исследовании авторами предпринимается попытка осуществить физическое, математическое и компьютерное моделирование процессов, протекающих в системе «судно-трал».

2. Материалы и методы

Модель входит в эксперимент не только замещая объект исследования, она может замещать и условия проведения опытов. Обычный эксперимент предполагает наличие теоретического момента лишь в начальный момент исследования - выдвижение гипотезы, ее оценку и т.д., а также на завершающей стадии - обсуждение и интерпретацию полученных данных, их обобщение. В модельном эксперименте необходимо также обосновать отношение подобия между моделью и натуральным объектом, возможность экстраполировать на этот объект полученные данные. Теоретической основой модельного эксперимента, главным образом в области физического моделирования, является теория размерности и подобия. Она дает правила моделирования для случаев, когда модель и натура обладают одинаковой (или почти одинаковой) физической природой. Но, в настоящее время, практика моделирования вышла за пределы

сравнительно ограниченного круга механических явлений. В модели реализованы двоякого рода знания:

- знание самой модели (ее структуры, процессов, функций) как системы, созданной с целью воспроизведения некоторого объекта;

- теоретические знания, посредством которых модель была построена.

Имея в виду именно теоретические соображения и методы, лежащие в основе построения модели, можно ставить вопросы о том, насколько верно и полно данная модель отражает объект. Таким образом, можно говорить о том, что истинность присуща материальным моделям в силу:

- связи их с определенными знаниями;

- наличия (или отсутствия) изоморфизма ее структуры со структурой моделируемого процесса или явления;

- отношения модели к моделируемому объекту, которое делает ее частью познавательного процесса и позволяет решать определенные познавательные задачи.

Модель можно рассматривать не только как орудие проверки того, действительно ли существуют такие связи, отношения, структуры, закономерности, которые формулируются в данной теории и выполняются в модели. Успешная работа модели есть практическое доказательство истинности теории, т.е. часть экспериментального доказательства истинности этой теории.

Физические величины связаны между собой определенными соотношениями. Поэтому, если некоторые из них принять за основные (первичные) и установить для них конкретные единицы измерения, то единицы измерения остальных производных (вторичных) величин будут выражаться определенным образом через единицы измерения основных величин. При организации экспериментов необходимо с самого начала установить наиболее целесообразную методику их проведения и порядок обработки результатов опытов. В практике гидродинамических и грунтодинамических исследований метод анализа размерностей нашел широкое применение. Он позволяет заранее определить основные критерии подобия, в которых следует обрабатывать результаты опытов, а также обобщать их и устанавливать закономерности, отражающие исследуемый процесс. Исходным для анализа и синтеза размерностей является то, что любое математическое уравнение, описывающее физический процесс, обязательно должно быть размерно-однородным. Это означает, что обе его части имеют всегда одинаковую размерность независимо от выбора системы физических величин. В соотношении, отражающем физическое явление, знаками равенства или алгебраической суммы могут быть связаны только размерные величины одной природы. Силы могут сравниваться и складываться только с силами, скорости - со скоростями, длины с длинами и т.д. Необходимо, чтобы в соотношении, имеющем физический смысл, все члены, связанные знаками алгебраической суммы или равенства, имели одинаковую размерность.

Авторами статьи на основании теории размерности получены масштабы подобия орудий и элементов орудий рыболовства при динамическом

подобии через масштаб геометрических характеристик C_l :

- механических величин;
- гидродинамических величин;
- грунтодинамических величин;
- трибологических величин;
- электродинамических величин;
- термодинамических величин;
- световых величин;
- акустических величин;
- оптических величин.

В таблицах 1 – 6 приведены основные масштабы подобия различных физических величин относительно масштаба C_l .

Таблица 1

Основные масштабы подобия механических, гидродинамических, грунтодинамических и трибологических величин

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
Геометрический параметр (длина, высота, ширина и др.)	C_l	C_l
Геометрический параметр (площадь)	C_F	C_l^2
Геометрический параметр (объем)	C_V	C_l^3
Геометрический параметр (геометрический момент инерции)	C_I	C_l^4
Масса	C_m	C_l^3
Время	C_t	$C_l^{5/4}$
Скорость	C_v	$C_l^{1/4}$
Сила	C_R	$C_l^{3/2}$
Ускорение	C_w	$C_l^{-3/2}$
Объемный вес	C_γ	$C_l^{-3/2}$
Момент (вращательный)	$C_{Mб}$	$C_l^{5/2}$
Плотность воды	C_ρ	1
Динамическая вязкость воды	C_μ	$C_l^{3/4}$
Кинематическая вязкость воды	C_ν	$C_l^{3/4}$
Изгибная жесткость	C_{EI}	$C_l^{7/2}$
Упругость материала	C_E	$C_l^{-1/2}$
Давление	C_p	$C_l^{-1/2}$
Частота оборотов	$C_{\omega б}$	$C_l^{-5/4}$
Частота колебаний	C_f	$C_l^{-5/4}$
Касательное напряжение	C_σ	$C_l^{-1/2}$
Потенциальная энергия	$C_{Uп}$	$C_l^{5/2}$
Кинематическая энергия	$C_{Tп}$	$C_l^{5/2}$
Поверхностное натяжение	$C_{\sigmaп}$	$C_l^{1/2}$
Нормальная нагрузка	$C_{\sigma гр}$	$C_l^{-1/2}$
Мощность	C_N	$C_l^{5/4}$

Твердость	$C_{НВ}$	$C_l^{-1/2}$
Угол	$C_\alpha = C_{\phi в н}$	1
Сплошность	$C_{F\phi}$	1
Коэффициент сопротивления (распорной силы, боковой силы)	C_k	1
Коэффициент трения	$C_{\mu д}$	1
Относительное удлинение	C_ϵ	1

Таблица 2

Основные масштабы подобия электродинамических величин

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
Энергия, работа, количество теплоты	$C_\Delta = C_A = C_Q$	$C_l^{5/2}$
Мощность	C_P	$C_l^{5/4}$
Количество электричества, электрический заряд	C_q	$C_l^{11/4}$
Электрическое напряжение, потенциал, электродвижущая сила	C_U	$C_l^{-1/4}$
Электрическая емкость	C_C	C_l^3
Электрическое сопротивление	C_{Rc}	$C_l^{-7/4}$
Электрическая проводимость	C_G	$C_l^{7/4}$
Поток магнитной индукции	C_Φ	C_l
Магнитная индукция	C_B	C_l^{-1}
Индуктивность	C_L	$C_l^{-1/2}$
Удельное сопротивление материала	$C_{\rho c}$	$C_l^{-3/4}$
Сила тока	C_I	$C_l^{3/2}$

Таблица 3

Основные масштабы подобия термодинамических величин

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
Количество теплоты	C_Q	$C_l^{5/2}$
Удельное количество теплоты	C_h	$C_l^{-1/2}$
Тепловой поток	C_Π	$C_l^{5/4}$
Поверхностная плотность теплового потока	C_q	$C_l^{-3/4}$
Температуропроводность	C_α	$C_l^{3/4}$
Объемная плотность теплового потока	C_{qv}	$C_l^{-7/4}$

Удельный расход топлива	C_{qfu}	$C_l^{1/2}$
Масштаб разности конечной и начальной температур	C_K	$C_l^{3/2}$
Удельная теплопроводность	C_X	$C_l^{-5/4}$
Удельная теплоёмкость	C_c	C_l^{-2}
Температурный коэффициент	C_{ay}	$C_l^{-3/2}$
Температурный градиент	C_{gradK}	$C_l^{-1/4}$
Теплоёмкость	C_C	C_l
Объемная теплоемкость	$C_{c'}$	C_l^{-2}
Коэффициент лучеиспускания	C_{Ck}	$C_l^{-27/4}$
Коэффициент теплообмена	C_{Ca}	$C_l^{-9/4}$
Универсальная газовая постоянная	C_k	C_l^{-2}
Молярная масса	C_M	1
Количество вещества	C_v	C_l^3
Молярная внутренняя энергия	C_{Um}	$C_l^{-1/2}$
Удельная молярная энтальпия	C_l	C_l^{-4}
Молярная теплоемкость	C_{Cm}	C_l^{-2}

Таблица 4

Основные масштабы подобия световых величин

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
Сила света	C_{lv}	$C_l^{5/4}$
Световой поток	$C_{Фv}$	$C_l^{5/4}$
Световая энергия	C_{Qv}	$C_l^{5/2}$
Освещенность	C_{Ev}	$C_l^{-3/4}$
Светимость	C_{Mv}	$C_l^{-3/4}$
Яркость	C_{Lv}	$C_l^{-3/4}$
Световая экспозиция	C_{Hv}	$C_l^{1/2}$
Энергия излучения	C_{Qe}	$C_l^{5/2}$
Поток излучения, мощность излучения	$C_{Фe}$	$C_l^{5/4}$
Поверхностная плотность потока излучения	$C_{Фp}$	$C_l^{-3/4}$
Объемная плотность энергии излучения	C_{Ue}	$C_l^{-1/2}$
Объемная плотность световой энергии	C_{Uv}	$C_l^{-3/4}$
Энергетическая сила света (сила излучения)	C_{le}	$C_l^{5/4}$
Энергетическая яркость	C_{Le}	$C_l^{-3/4}$
Энергетическая освещенность (облученность)	C_{Ee}	$C_l^{-3/4}$

Энергетическая светимость (излучаемость)	C_{Me}	$C_l^{-3/4}$
Интегральная яркость	C_{lv}	$C_l^{1/2}$
Спектральная плотность энергии излучения	$C_{Q\lambda}$	$C_l^{3/2}$

Таблица 5

Основные масштабы подобия акустических величин

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
Скорость звука	C_c	$C_l^{1/4}$
Частота	C_f	$C_l^{5/4}$
Интенсивность звука (плотность потока звуковой энергии, сила звука)	C_{Is}	$C_l^{-3/4}$
Звуковая мощность (поток звуковой энергии)	C_{Ps}	$C_l^{5/4}$
Звуковая энергия	C_{Ws}	$C_l^{5/2}$
Звуковое давление	C_{ps}	$C_l^{1/2}$
Площадь	C_F	C_l^2
Время реверберации	C_t	$C_l^{5/4}$
Колебательная скорость звука (скорость частиц)	C_v	$C_l^{-1/4}$
Объемная скорость звука	C_{Vs}	$C_l^{7/4}$
Акустическое сопротивление	C_{Rs}	$C_l^{9/4}$
Удельное акустическое сопротивление	C_{Zs}	$C_l^{-1/4}$
Механическое сопротивление	C_{Rm}	$C_l^{7/4}$
Коэффициент звукопоглощения	C_{as}	1
Длина звуковой волны	C_λ	C_l
Плотность потока энергии волн	C_{Js}	$C_l^{-3/4}$
Плотность звуковой энергии	C_{ws}	$C_l^{-1/2}$
Круговая частота	C_ω	$C_l^{5/4}$
Угол	$C_{\alpha\beta}$	1
Уровень интенсивности звука	C_{Ls}	1
Уровень звукового давления	C_{pA}	1
Уровень звуковой мощности	C_{WA}	1
Индекс воздействия шума	C_{Lden}	1
Уровень звуковой экспозиции	C_{SEL}	1

Таблица 6

Основные масштабы подобию оптических величин

Масштабы физических характеристик		Преобразование через масштаб C_l
Физические характеристики	Обозначение	
Длина волны	C_l	C_l
Период колебаний	C_t	$C_l^{5/4}$
Показатель (коэффициент) преломления	C_n	1
Сила света	C_{lv}	$C_l^{5/4}$
Световой поток	$C_{\Phi v}$	$C_l^{5/4}$
Световая энергия	C_{Qv}	$C_l^{5/2}$
Освещенность	C_{Ev}	$C_l^{-3/4}$
Светосила объектива	C_{fv}	1
Оптическая сила	C_D	C_l^{-1}
Увеличение линейное, продольное	$C_{\beta v}$	1
Увеличение окуляра, микроскопа, лупы	$C_{\Gamma e}$	1
Угол отражения луча	$C_{\epsilon v}$	1
Угол падения луча	$C_{\sigma e}$	1
Фокусное расстояние	C_{Fe}	C_l
Частота колебаний	C_{fe}	$C_l^{-5/4}$
Поток излучения и мощность излучения	$C_{\Phi e}$	$C_l^{5/4}$
Энергия излучения	C_{Qe}	$C_l^{5/2}$

Необходимость систематизации, анализа и синтеза большого объема данных, полученных с различных экспериментов, привела к необходимости разработки компьютерной программы, способной численно рассчитывать масштабы мультифизического подобию процессов рыболовства «Масштабы мультифизического подобию процессов рыболовства».

Компьютерная программа предназначена для анализа зависимостей между масштабами подобию в мультифизической области (механическими, гидродинамическими, грунтодинамическими, трибологическими, электродинамическими, термодинамическими, световыми, акустическими, оптическими, форма-определяющими, временными) применительно к процессам рыболовства, в том числе визуального в трехмерном представлении. Данная программа позволяет рассчитывать масштабы подобию для конкретного масштаба линейных размеров C_l , который задается исходя из линейных размеров экспериментальной установки или механизма и др.

При визуализации используется цилиндрическая система координат [5].

3. Результаты

На рис. 2 изображен пользовательский интерфейс для ввода входных и отображения расчетных параметров масштабов механических, гидродинамических, грунтодинамических, трибологических, электродинамических, термодинамических, световых, акустических, оптических величин. Входными параметрами являются диапазон значений C_l и степень дискретизации результата при трехмерной визуализации зависимостей расчетных масштабов от C_l в цилиндрической системе координат.

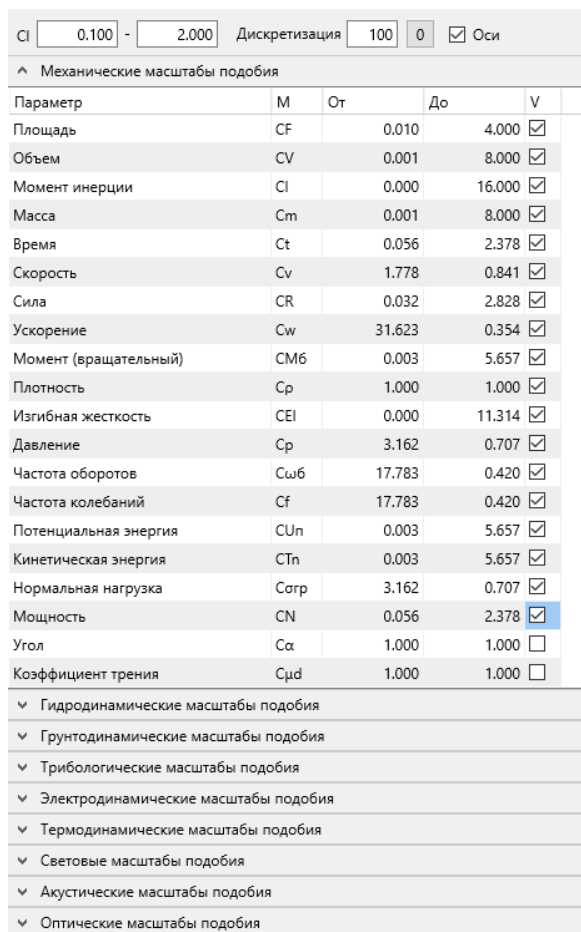


Рис. 2. Входные и расчетные параметры масштабов механических, гидродинамических, грунтодинамических, трибологических, электродинамических, термодинамических, световых, акустических, оптических величин

На рис. 3 приведен пространственный график зависимости расчетных масштабов от C_l в цилиндрической системе координат, указанных на рис. 2. По вертикальной оси (оси цилиндра), задающей высоту точки над плоскостью в полярной системе координат, отложено значение масштаба C_l . Полярному углу сопоставляется номер расчетного масштаба. Полярному радиусу – значение расчетного масштаба.

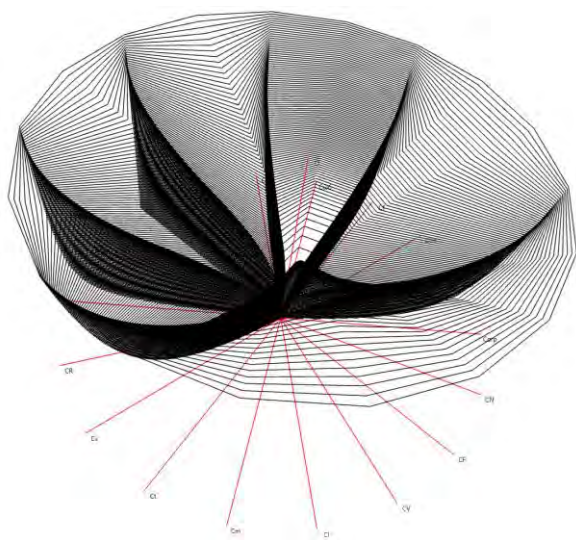


Рис. 3. График зависимости расчетных масштабов от C_i

Расчетные значения масштабов, соответствующие одному значению C_i , с заданной степенью дискретизации соединяются замкнутой линией.

Выводы

В настоящее время одной из самых важных прикладных отраслей является промышленное рыболовство. С развитием рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации встает задача обработки больших данных (это прогноз промысла,

эксплуатация орудий рыболовства, поведение гидробионтов и тд). И одним из качественных и количественных путей развития для решения данного типа задач является применение искусственных нейронных сетей, которые позволяют выполнять большое количество операций.

В данной статье рассмотрены первые шаги для создания математической базы и правил физического подобия для разработки методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования на нейронной сети. Спрогнозировать работу тралового комплекса, а именно трала в сложной ситуации (штормовые условия, боковые течения, аварийная ситуация), установить график работы систем управления, предвидеть поведение гидробионтов в зоне действия трала возможно с использованием предсказательного моделирования.

В статье приводятся масштабы подобия физических величин и их зависимостей, в том числе в виде пространственного их представления, что необходимо при создании математической базы и правил физического подобия для дальнейшей разработки методов управления сложной технической системы - разноглубинного трала и рыболовного судна (судно-трал) с применением предсказательного моделирования на нейронной сети.

В результате были теоретически обоснованы условия подобия рыболовного трала, на основе которых была разработана программа для ЭВМ «Масштабы мультифизического подобия процессов рыболовства».

Литература

1. Недоступ, А.А. Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства// Вестник томского государственного университета. Математика и механика. Томск. - №. 3(19). - 2012. - С. 55-67.
2. Недоступ, А.А., Ражев, А.О. Моделирование орудий и процессов рыболовства. Часть I : учебное пособие / А.А. Недоступ, А.О. Ражев. - Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. - 433 с.
3. Недоступ, А.А., Ражев, А.О. Моделирование орудий и процессов рыболовства. Часть II: учебное пособие / А.А. Недоступ, А.О. Ражев. - Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ». 2019. - 444 с.
4. Недоступ А.А., Ражев А.О. К теории электродинамического подобия промысловых механизмов. Известия КГТУ. №56. - 2020. - С. 61-70.
5. Халилов В.Р., Чижов Г.А. Динамика классических систем: Учеб. пособие. — М.: Изд-во МГУ, 1993. — 352 с.

References

1. Nedostup, A.A. *Fizicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh processov dvizhenija orudij rybo-lovstva* [Physical modeling of hydrodynamic processes of the movement of tools of fishery]. Vestnik tomского gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika. Tomsk, no. 3(19), 2012, pp. 55-67.
2. Nedostup, A.A., Razhev, A.O. *Modelirovanie orudij i processov rybolovstva. Chast' I : uchebnoe posobie* [Modeling of tools and processes of fishery. Part I: manual]. Kaliningrad, izd. FGBOU VO «KGTU», 2019, 433 p.
3. Nedostup, A.A., Razhev, A.O. *Modelirovanie orudij i processov rybolovstva. Chast' II: uchebnoe posobie* [Modeling of tools and processes of fishery. Part II: manual]. Kaliningrad, izd. FGBOU VO «KGTU», 2019, 444 p.
4. Nedostup, A.A., Razhev, A.O. *K teorii jelektrodinamicheskogo podobija promyslovyh mehanizmov* [To the theory of electrodynamic similarity of trade mechanisms]. Izvestiya KGTU, no. 56, 2020, pp. 61-70.
5. Halilov, V.R., Chizhov, G.A. *Dinamika klassicheskikh sistem: Ucheb. posobie* [Dynamics of classical systems: manual]. M., izd. MGU, 1993, 352 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Александр Алексеевич Недоступ, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного рыболовства, Калининградский государственный технический университет, 236022, Калининград, Советский пр-т, 1, e-mail: nedostup@klgtu.ru

Alexander A. Nedostup, Ph. D., assistant professor of the Commercial Fisheries Department, Kaliningrad State Technical University, 236022, Kaliningrad, Sovetskiy prospect, 1, e-mail: nedostup@klgtu.ru

Алексей Олегович Ражев, младший научный сотрудник, Калининградский государственный технический университет, 236022, Калининград, Советский пр-т, 1, e-mail: progacpp@live.ru

Aleksey O. Razhev, junior research assistant, Kaliningrad State Technical University, 236022, Kaliningrad, Sovetskiy prospect, 1, e-mail: progacpp@live.ru

Поступила в редакцию: 03.11.2020

Принята к публикации: 10.02.2021



Научный журнал ВАК и WEB of SCIENCE
«МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

ISSN 2588-0233, ISSN № 2073-7173

190121 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д.3

e-mail: mit-journal@mail.ru <http://morintex.ru>

**ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ
НАУЧНОГО ЖУРНАЛА
"МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"**

Для публикации статьи необходимо представление перечисленных ниже документов:

1. Сопроводительное письмо авторов
2. Электронная версия статьи, подготовленная в соответствии с требованиями к оформлению статей – публичная оферта размещена на сайте www.morintex.ru
3. Акт экспертизы на открытую публикацию (при необходимости)
4. Лицензионный договор и акт к нему от каждого из авторов
5. Рубрикатор

Перечисленные документы (кроме акта экспертизы) должны быть переданы в редакцию по электронной почте по адресу mit-journal@mail.ru (поэтому же адресу осуществляется текущая переписка с редакцией).

Инструкция по оформлению статьи и другие документы можно скачать с нашего сайта <http://morintex.ru> из раздела «для авторов».

На страницах журнала публикуются **НОВЫЕ** научные разработки, новые результаты исследований, новые методы, методики и технологии в области кораблестроения, информатики, вычислительной техники и управления. Это является основным требованием к статьям.

Каждая статья, принятая редколлегией для рассмотрения, проходит также внутреннюю процедуру рецензирования. По результатам рецензирования статья может быть либо отклонена, либо отослана автору на доработку, либо Принята к публикации. Рецензентом должен быть специалист по профилю статьи с ученой степенью не ниже кандидата наук.

Редколлегия не вступает с авторами в обсуждение соответствия их статей тематике журнала.

Плата с аспиранта в случае, если он является единственным автором, за публикацию статьи не взимается.

Стоимость публикации с 2019г. 12000 рублей по выставяемому по запросу счету.

Авторы несут ответственность за содержание статьи и за сам факт ее публикации. Редакция журнала не несет ответственности за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Если публикация статьи повлекла нарушение чьих-либо прав или общепринятых норм научной этики, то редакция журнала вправе изъять опубликованную статью.

**Главный редактор научного журнала
"МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"**

д.т.н. проф. Никитин Н.В.

Есть на складе издательства НИЦ МОРИНТЕХ

Гайкович А.И.

Основы теории проектирования сложных технических систем, СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2001, 432 стр.

Монография посвящена проблеме проектирования больших разнокомпонентных технических систем. Изложение ведется с позиций системного анализа и достижений прикладной математики и информатики.

Есть в продаже: **цена 420 руб. + пересылка**

Архипов А.В., Рыбников Н.И.

Десантные корабли, катера и другие высадочные средства морских десантов, СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2002, 280 стр.

Изложен опыт проведения морских десантных операций, их особенности, характерные черты и тенденции развития этого вида боевых действий. Рассмотрены наиболее существенные аспекты развития десантных кораблей, катеров и других высадочных средств морских десантов. Затронуты некоторые особенности проектирования десантных кораблей и возможные пути совершенствования расчетных методов.

Есть в продаже: **цена 320 руб. + пересылка**

Караев Р.Н., Разуваев В.Н., Фрумен А.И., Техника и технология подводного обслуживания морских нефтегазовых сооружений. Учебник для вузов, СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2012, 352 стр.

В книге исследуется роль подводно-технического обслуживания в освоении морских нефтегазовых месторождений. Приводится классификация подводного инженерно-технического обслуживания морских нефтепромыслов по видам работ.

Изложены основные принципы формирования комплексной системы подводно-технического обслуживания морских нефтепромыслов, включающей использование водолазной техники, глубоководных водолазных комплексов и подводных аппаратов.

Есть в продаже: **цена 1500 руб. + пересылка**

Шауб П.А.

Качка поврежденного корабля в условиях морского волнения, СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 144 стр.

Монография посвящена исследованию параметров бортовой качки поврежденного корабля, судна с частично затопленными отсеками в условиях морского волнения. Выведена система дифференциальных уравнений качки поврежденного корабля с учетом нелинейности диаграммы статической остойчивости, начального угла крена, затопленных отсеков III категории.

Книга предназначена для специалистов в области теории корабля, а также может быть полезной для аспирантов, инженеров и проектировщиков, работающих в судостроительной области, занимающихся эксплуатацией корабля, судна.

Есть в продаже: **цена 350 руб. + пересылка**

Гидродинамика малопогруженных движителей: Сборник статей, СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 224 стр.

В сборнике излагаются результаты исследований гидродинамических характеристик частично погруженных гребных винтов и экспериментальные данные, полученные в кавитационном бассейне ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова в 1967–2004 гг. его эксплуатации при отработке методик проведения испытаний на штатных установках.

Есть в продаже: **цена 250 руб. + пересылка**

Гайкович А.И.

Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов т. 1, 2, СПб., НИЦ МОРИНТЕХ, 2014

Монография посвящена теории проектирования водоизмещающих кораблей и судов традиционной гидродинамической схемы. Методологической основой излагаемой теории являются системный анализ и математическое программирование (оптимизация).

Есть в продаже: **цена 2-х т. 2700 рублей + пересылка**