

# МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

10011010011011111001100100011000101001110100100011000110101011110100001001001010010011  
0100011011000001101101100010100100111010011100110100111010011010101000011101100111001010  
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001  
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110  
110101100001010111101001010011011010101100010110101011001010011101010101101001101001  
10011010011011111001100100011000101001110100100011000110101011110100001001001010010011  
010001101100000110110110001010010011101001110011101001110100110101000011101100111001010  
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001  
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110  
11010110000101011110100101001101101010110001011010001100001010011101010001101001101001

№ 2 (36) том 2 2017



010001101100000110110110001010010011101001110011101001110100110101000011101100111001010  
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001  
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110  
110101100001010111101001010011011010101100010110101011010010100111010101 101001  
10011010011011111001100100011000101001110100101011000110101011110101101 1010  
010001101100000110110110001010010011101001110011101001110100110101000010 011





# МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 2 (36) Т.2 2017 [www.morintex.ru](http://www.morintex.ru), ISSN № 2073-7173,

Тематика: кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление

## Главный редактор:

**Н.В. Никитин, д.т.н., профессор**

## Редакционный Совет

### Сопредседатели

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

Г.А. Туричин, д.т.н., Ректор, СПбГМТУ

## Члены Совета

Е.М. Апполонов, д.т.н. главный научный сотрудник ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

А.И. Гайкович, д.т.н., профессор, генеральный директор, НИЦ "МОРИНТЕХ"

Г.Н. Муру, к.т.н., генеральный директор, 51 ЦКТИ судоремонта

Огай С. А. к.т.н., доцент ректор, Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского

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

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

Пентти Куяла, профессор, университет Аалто, Финляндия

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

К.В. Рождественский, д.т.н., профессор, проректор по международному сотрудничеству, СПбГМТУ

С.П. Столяров, д.т.н., профессор, декан факультета корабельной энергетики и автоматики, СПбГМТУ

## Редакционная коллегия

### Заместители главного редактора

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

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

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

П.А. Шауб, д.т.н., профессор, НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ

### Члены Редколлегии

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

А.Е. Богданов к.т.н. — ОАО «Системы управления»

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

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

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

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

В.А. Евтеев, д.т.н., Объединенная судостроительная корпорация

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

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

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

О.В. Третьяков, д.т.н., доцент, НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ

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

**Периодичность издания** — 4 номера в год

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) <http://vak.ed.gov.ru>

**Журнал включен 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**

Рукописи представляются в редакцию в электронном виде (на диске или по электронной почте: [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru))

**Учредитель - издатель:** Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

**Свидетельства о регистрации СМИ** ПИ № ФС77-32382 от 09.06.2008, Эл № ФС72-3345

Редакция в обязательном порядке осуществляет экспертную оценку всех материалов, публикуемых в журнале

**190121 г. Санкт-Петербург, ул Лоцманская д.3**

**Телефон/факс +7 (812) 513-04-51**

**e-mail: [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru)**

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»**

Дизайн: А.В. Антонов



# MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

Scientific journal № 2 (36) V. 2 2017 [www.morintex.ru](http://www.morintex.ru) ISSN 2073-7173,

Subject: shipbuilding, computer science, computer engineering and management

## Chief Editor:

N. V. Nikitin, Doctor of Engineering, Professor

## Editorial Board

### Co-chairmen

I.G. Zakharov, Doctor of Engineering, Professor, Vice-CEO ZMKB "Almaz"

G.A. Turichin, Doctor of Engineering, Rector, Saint-Petersburg State Marine Technical University

## Council Members

E.M. Appolonov, Doctor of Engineering, Chief Researcher Krylov State Research Centre

A.I. Gajkovich, Doctor of Engineering, Professor, CEO, Research Centre "Marine Intelligent Technologies"

Malygin I.G., Doctor of Engineering, Professor, CEO, Institute of Transportation Problems of the Russian Academy of Science

G.N. Muru, PhD, CEO, 51 CCIS

Ogai S.A., PhD, Associate professor, Rector, Maritime state university named Admiral Nevelskoi

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

Pentti Kujala, Professor, Aalto University, Finland

V.N. Polovinkin, Doctor of Engineering, Professor, Assistant Director General, Krylov State Research Centre

K.V. Rozhdestvenskij, Doctor of Engineering, Professor, Vice-Rector for International Science & Education, Saint-Petersburg State Marine Technical University

S.P. Stoljarov, Doctor of Engineering, Professor, Dean of the Faculty of naval power and automation, Saint-Petersburg State Marine Technical University

## Editorial Staff

### Deputy Chief Editors

I. Gaykovich, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

D. A. Skorokhodov, Doctor of Engineering, Professor, Institute of Transportation Problems of the Russian Academy of Science

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

P. A. Shaub, Doctor of Engineering, Professor, Institute of Shipbuilding and armaments of Russian Navy

### Members of Editorial Staff

A.V. Alekseev, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

A. E. Bogdanov, PhD, JSC "Control Systems"

R. V. Borisov, Doctor of Engineering, Professor St. Petersburg State Marine Technical University

Yu. A. Vlasov, PhD, Adjunct Professor, Florida International University, Miami, FL, USA

Voyloshnikov M.V., Doctor of Engineering, Professor, Maritime state university named Admiral Nevelskoi

A.N. Dyadik, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

V. A. Evteev, Doctor of Engineering, United Shipbuilding Corporation

Yu. I. Nechayev, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

V. V. Rodionov, PhD, Senior Research Scientist, CJSC "Sea Project"

V. Yu.Semenova, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

D. A. Skorokhodov, Doctor of Engineering, Professor, Institute of Transportation Problems of the Russian Academy of Science

O. V. Tretyakov, Doctor of Engineering, Associate Professor, Institute of Shipbuilding and armaments of Russian Navy

N. A. Taranukha, Doctor of Engineering, Professor, Komsomolsk-on-Amur State Technical University

## Publication frequency — 4 issues per year

The journal is included into the system of Russian Science Citation Index <http://vak.ed.gov.ru>

**The magazine 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.**

Manuscripts are to be submitted to the editorial office in electronic form (on CD or via E-mail: [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru))

Founder-Publisher: Research Centre "Marine Intelligent Technologies"

**Registration Certificate:** ПИ № ФС77-32382 of 09.06.2008,

Эл № ФС72-3345

**Address:** Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg

120121, Russian Federation

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

e-mail: [mit-journal@mail.ru](mailto: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"

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



# 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.

О журнале ..... 6

**ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА**

Кальясов П. С., Лукьянов А. И., Февральских А. В., Шабаров В. В. Применение механизации крыла в виде закрылка и предкрылка на взлетных режимах экранопланов со статической воздушной подушкой ..... 9

Тарануха Н. А., Гневашева Н. Б., Журбина И. Н. Влияние малой разнотолщинности на изгибные колебания оболочки..... 15

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ**

Плахов Н. Н. Формирование жилой зоны перспективных кораблей ..... 22

**ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Куличкова Е. А. Метод проектирования судовой трубопроводной арматуры ..... 30

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)**

Глушков С. П., Косенко Д., Кочергин В. И., Красников В. В., Влияние кинетики горения топлива на параметры неравномерности вращения судовых энергетических установок ..... 35

Леонтьев Л. Б., Леонтьев А. Л. Повышение долговечности и эффективности топливных насосов высокого давления судовых двигателей ..... 42

Богданов А. Г. Каминский В. Ю., Скороходов Д. А. Синтез оптимальных характеристик гидроприводов управления движением ..... 47

**УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

Малыгин И. Г., Комашинский В., Асаул М. А. Интеллектуальные технологии на водном транспорте ..... 55

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

Богданов А. Е. Особенности процессов управления материально-техническим обеспечением верфи при создании морской техники ..... 59

Брезгин Р. В., Кобзев В. В. Метод автоматизированного синтеза сетевой модели процесса разработки конструкторской документации ..... 66

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Арутюнян А. Р., Арутюнян Р. А. Повреждаемость и длительная прочность сжимаемых упруго-вязких стареющих сред ..... 76

**ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

Маринов М. Л., Стариченков А. Л. Концепция разработки программного обеспечения для профессиональной диагностики деятельности морских специалистов ..... 84

CONTENTS

page

About journal ..... 6

**THEORY OF SHIP AND STRUCTURES**

**Kalyasov P. S., Lukyanov A. I., Fevral'skikh A. V., Shabarov V. V.** Mechanization of wing by flaps and slats on takeoff motion modes of ground effect vehicles with static air cushion ..... 9  
**Taranukha N. A., Gnevasheva N. B., Zhurbina I. N.** The effect a small thickness variation on flexural vibration of the shell ..... 15

**SHIP DESIGNING AND STRUCTURE**

**Plakhov N. N.** Formation of the residential area of the perspective of formation of the residential area of the perspective ships ..... 22

**SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING PRODUCTION**

**Kulichkova E. A.** Method of design of marine pipeline fittings ..... 30

**SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)**

**Glushkov S. P., Kosenko D. Yu., Kochergin V. I., Krasnikov V. V.** Influence of kinetics of burning of fuel on parameters of univene rotation of ships power plants ..... 35  
**Leont'ev L. B., Leont'ev A. L.** Increasing durability and effectiveness fuel pumps of high pressure ship engines ..... 42  
**Bogdanov A. G., Kaminsky V. Yu., Skorokhodov D. A.** Synthesis of optimal energy characteristics of the hydraulic activators of the motion control system ..... 47

**CONTROL AND PROCESSING OF INFORMATION**

**Malygin I. G., Komashinskiy V. I., Asaul M. A.,** The intellectual technologies on water transport ..... 55

**AUTOMATION AND CONTROL OF PROCESSES AND PRODUCTIONS**

**Bogdanov A. E.** Management peculiarities of the dockyard material and technical supply in marine equipment creation process ..... 59  
**Brezgin R. V., Kobzev V. V.** Automated synthesis method of the network model of developed process of design documentation ..... 66

**FOUNDATIONS OF INFORMATION SCIENCE MATHEMATICAL MODELLING**

**Arutyunyan A. R., Arutyunyan R. A.** Damage and long-term strength of compressible elastic viscous aged media ..... 76

**NUMERICAL PROCEDURES AND SOFTWARE SYSTEMS**

**Marinov M. I., Starichenkov A. L.** The concept of software developments for professional value diagnostics activity of marine professionals ..... 84

## О ЖУРНАЛЕ

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

**Журнал включен 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.**

**Наш журнал включен в международную реферативную базу данных Web of Science**

В журнале обязательно рецензирование статей ведущими специалистами по профилю статьи.

Аннотации выпусков журнала с 2008 по 2014 года и с № 3(25) 2014 полные выпуски размещены на сайте [www.morintex.ru](http://www.morintex.ru)

Аннотации выпусков журнала с 2008 по 2015 года и с № 4(30) 2015 полные выпуски размещены в научной электронной библиотеке.

**Подписной индекс 99366 в «Межрегиональном агентстве подписки» (МАП).**

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

### Тематика

Тематика журнала соответствует следующим специальностям научных работников номенклатуры ВАК: кораблестроение (теория корабля и строительная механика, проектирование и конструкция судов, технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства, судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные), физические поля корабля, океана, атмосферы и их взаимодействие); информатика, вычислительная техника и управление (системный анализ, управление и обработка информации, автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, управление в социальных и экономических системах, математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, системы автоматизации проектирования, теоретические основы информатики, математическое моделирование, численные методы и комплексы программ)

### Основные направления

- Интеллектуальные технологии в проектировании кораблей и судов, компьютеризация процессов проектирования (управление и организация проектирования, системы автоматизированного проектирования). Морская история и техника.
- Интеллектуальные технологии в строительстве и ремонте кораблей и судов (перспективные технологии в строительстве и ремонте судов, автоматизированные системы подготовки производства, использование роботов).
- Интеллектуальные технологии в эксплуатации кораблей и судов (системы автоматизации кораблей и судов, автоматизированные системы управления, проблемы судовой эргономики, экология).
- Интеллектуальные технологии в прикладных исследованиях (математическое моделирование и компьютерный эксперимент, строительная механика, гидроаэродинамика, термодинамика, физические поля корабля).
- Интеллектуальные технологии в морской и судовой энергетике. Энергосберегающие технологии.
- Интеллектуальные технологии морского приборостроения.
- Искусственный интеллект в морских технологиях.
- Интеллектуальные технологии в маркетинговых исследованиях.
- Экономика и финансы в судостроении
- Кораблестроительное образование

## ABOUT JOURNAL

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

**The magazine 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.**

**Our log is included in the international abstract Web of Science database.**

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

The magazine 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, post-graduate students and students of higher educational institutions.

**Subscription index is 99366 in Interregional Subscription Agency.**

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

**BY the organizations' request the magazine editorial office can send any magazine issue or the whole set of magazines in general.**

The magazine subject corresponds to the following specialities of scientific workers conording to the list of Supreme Attestation Commission: 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).

### Basic Magazine Trends

- Intelligent technologies for designing of ships and vessels, computing of design process (control and organization of designing, automated designing systems). Marine History and Equipment.
- Intelligent technologies for ship and vessel building (advanced technologies for ship building, automated systems of production preparation, robot using).
- Intelligent technologies for ship and vessel operation (ship and vessel automation systems, automated control systems, problems in ergonomics, ecology).
- Intelligent technologies in applied researches (mathematical modelling and computer experiment, theory of structures, aerohydrodynamics, thermodynamics, physical fields of ship).
- Intelligent technologies in marine and ship power engineering. Energy-saving technologies.
- Intelligent technologies of marine instrument engineering.
- Artificial intelligence in marine technologies.
- Intelligent technologies in marketing researches • Intelligent technologies in logistics



**ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА**

УДК 629.576

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ КРЫЛА В ВИДЕ ЗАКРЫЛКА И ПРЯДКРЫЛКА НА ВЗЛЕТНЫХ РЕЖИМАХ ЭКРАНОПЛАНОВ СО СТАТИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКОЙ****Кальясов Павел Сергеевич**

кандидат технических наук, инженер-конструктор  
ООО Судостроительная компания «АЭРОХОД»  
603003, Нижний Новгород, ул. Щербакова, 37Е  
e-mail: [pkalyasov@mail.ru](mailto:pkalyasov@mail.ru)

**Лукьянов Анатолий Иванович**

главный конструктор проекта  
ООО Судостроительная компания «АЭРОХОД»  
603003, Нижний Новгород, ул. Щербакова, 37Е

**Февральских Андрей Владимирович**

аспирант  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
e-mail: [a.fevralskih@gmail.com](mailto:a.fevralskih@gmail.com)

**Шабаров Василий Владимирович**

кандидат технических наук, руководитель исследовательского отдела  
ООО Судостроительная компания «АЭРОХОД»  
603003, Нижний Новгород, ул. Щербакова, 37Е  
e-mail: [isadymacar@yandex.ru](mailto:isadymacar@yandex.ru)

**Аннотация**

Для транспортных средств, использующих экранный эффект на крейсерском режиме движения, актуальным является снижение взлетно-посадочных скоростей и, как следствие, нагрузок от контактов с опорными поверхностями. В традиционных компоновках экранопланов для уменьшения скорости движения, соответствующей отрыву судна от опорной поверхности, используется схема поддува – направления под несущее крыло воздушных струй движителей. Недостатком такой схемы является снижение аэродинамического качества на крейсерских режимах движения вследствие искажения воздушного потока пилонами и движителями, расположенными перед несущим крылом.

Альтернативным компоновочным решением, позволяющим сохранить высокое аэродинамическое качество крыла вблизи экрана, является судно, использующее в качестве взлетно-посадочного устройства статическую воздушную подушку (ВП). Пример такого аппарата – амфибийное судно на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой (АСВП с АР) проекта «Тунгус». В настоящей работе для таких аппаратов исследуется возможность увеличения подъемной силы на отрыве от подстилающей поверхности путем применения механизации крыла в виде закрылка и предкрылка. Приведены результаты численного моделирования экранной аэродинамики компоновочного варианта АСВП с АР, показывающие, что одновременное использование предкрылка и закрылка позволяет достичь значений коэффициента подъемной силы на отрыве, характерных для экранопланов с поддувом, и обеспечить более высокое аэродинамическое качество на режимах взлета. Анализ применения теоремы об изменении количества движения для профиля крыла вблизи экрана показывает ограниченность применения такого способа механизации с точки зрения достигаемых максимальных значений коэффициента подъемной силы и устойчивости движения экраноплана по высоте.

**Ключевые слова:** амфибийное судно на воздушной подушке; экраноплан; численное моделирование; ANSYS CFD

**MECHANIZATION OF WING BY FLAPS AND SLATS ON TAKEOFF MOTION MODES OF GROUND EFFECT VEHICLES WITH STATIC AIR CUSHION****Kalyasov Pavel Sergeevich**

PhD in Technical Sciences, engineer

Shipbuilding company AEROHOD Ltd.  
37E, Shcherbakova str., Nizhny Novgorod 603003, Russian Federation  
e-mail: [pkalyasov@mail.ru](mailto:pkalyasov@mail.ru)

**Lukyanov Anatoliy Ivanovich**  
lead designer of the project  
Shipbuilding company AEROHOD Ltd.  
37E, Shcherbakova str., Nizhny Novgorod 603003, Russian Federation

**Fevralskikh Andrey Vladimirovich**  
PhD student  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev  
24, Minin St., Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation  
e-mail: [a.fevralskikh@gmail.com](mailto:a.fevralskikh@gmail.com)

**Shabarov Vasilij Vladimirovich**  
PhD in Technical Sciences, Head of the Research Department  
Shipbuilding company AEROHOD Ltd.  
37E, Shcherbakova str., Nizhny Novgorod 603003, Russian Federation  
e-mail: [isadymacar@yandex.ru](mailto:isadymacar@yandex.ru)

### Abstract

For using ground effect on cruise motion modes vehicles the decrease of takeoff speeds and the loads from the contacts with the underlying surfaces is topical. In the traditional layouts of wing-in-ground (WIG) effect vehicles the decrease of takeoff speeds is done by directing the efflux of forward mounted propulsion units under the wing. It names the PAR for power augmentation ram. The distortion of the air flow by the forward mounted propulsion units and decrease of the lift-to-drag ratio are the deficiencies of PAR.

The alternative layout decision allowing the high lift-to-drag ratio of the ground effect wing is using the static air cushion on the start motion mode. The example of this decision is the amphibious wing-in-ground effect vehicle with static air cushion, or WIG-howcraft. In present work for the WIG-howcraft the possibility of lift's increase on takeoff mode by wing mechanization using the flaps and the slats is investigated. The results of numerical modelling of WIG-howcraft's layout version are presented. This results show that the simultaneous application of the flap and the slat allows to increase the lift-to-drag ratio and to achieve the magnitudes of the lift coefficient typical to the WIG effect craft with PAR. The analyses of the impulse-momentum change theorem application for airfoil near the ground shows the limitation of the flaps and the slats using regarding the maximal magnitudes of the lift coefficient and the vertical motion stability of WIG effect vehicle.

**Key words:** amphibious air cushion vehicle; ground effect; numerical modelling; ANSYS CFD.

### Введение

Увеличение подъемной силы на режиме взлета экранопланов известных проектов («Орленок», «Лунь», «Стриж» и др.) достигается за счет применения в компоновке так называемой схемы поддува [1]. Схема поддува состоит в направлении аэродинамического потока от струй движителей, расположенных в носовой части экраноплана, под крыло. Для этого используется максимальная мощность дополнительной (стартовой) или единой маршево-стартовой силовой установки. Этот способ позволяет повысить значения коэффициента подъемной силы от  $C_y = 0,6 - 0,9$

единиц ( $C_y = \frac{2Y}{\rho V^2 S}$ ,  $Y$  – подъемная сила,  $\rho$  –

плотность воздуха,  $S$  – площадь крыла,  $V$  – скорость движения) на крейсерском режиме движения до значений коэффициента подъемной силы  $C_{y\max} = 1,6 - 1,8$  единиц на взлетной (отрывной) скорости [2]. При этом отрыв происходит при углах тангажа  $3^\circ - 4^\circ$ . В таблице 1 представлена

оценка характеристик экранопланов с поддувом известных проектов (таблица составлена с использованием [1], [2] и данных сети Интернет).

Основной недостаток схемы поддува заключается в искажении аэродинамического потока, обтекающего несущее крыло на крейсерском режиме движения. Это искажение ведет к снижению аэродинамического качества. Кроме того, увеличение удельной суммарной мощности силовой установки экраноплана (отнесенной к его взлетной массе) за счет поддувных двигателей снижает экономическую эффективность эксплуатации судна. Возможной альтернативой экранопланам, использующим для взлета поддув, является амфибийное судно на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой (АСВП с АР), сочетающее качества амфибийного судна на воздушной подушке и экраноплана. АСВП с АР переходит на режим экранного полета с режима движения на статической воздушной подушке [3]. Для реализации воздушной подушки в фюзеляже судна размещены вентиляторы, создающие область повышенного давления под нижней поверхностью

крыла. Область повышенного давления ограничена бортовым ограждением в виде пневмобаллонов, а также подвижными щитками в качестве носового и кормового ограждения [4]. С ростом скорости движения АСВП с АР статическое давление в ВП уменьшается за счет аэродинамической разгрузки. Уборка носового ограждения ВП происходит, когда динамическое давление набегающего потока достигает величины статического давления ВП. Выпущенное кормовое ограждение ВП на режимах взлета и посадки выполняет функцию закрылка. Переход на режим крейсерского экранного полета завершается подъемом кормового ограждения. Тяговооруженность (тяга, отнесенная к весу судна) с учетом двигателя нагнетателя статической ВП самоходной модели АСВП с АР проекта «Тунгус» (ООО Судостроительная компания «АЭРОХОД») со взлетной массой 1800 кг на режиме отрыва от

опорной поверхности составляет порядка  $\bar{T}_{отр} = 0,18$  [5].

Таким образом, у АСВП с АР суммарная тяговооруженность судна на режиме перехода к крейсерскому экранному полету ниже, чем у экранопланов поддувной схемы.

Вместе с тем, экранопланы с поддувом имеют на 20 – 40 % большие значения коэффициента подъемной силы на режимах взлета, чем АСВП с АР проекта «Тунгус»  $C_{yотр} = 1,15$  [5]. Поэтому для АСВП с АР и экранопланов с взлетно-посадочным устройством в виде статической ВП актуальным является поиск путей повышения коэффициента подъемной силы на взлетных режимах для снижения скорости отрыва от подстилающей поверхности. В настоящей работе ставится задача исследования эффективности применения механизации крыла у экрана в виде закрылка и предкрылка.

Таблица 1

Характеристики экранопланов с поддувом на взлетно-посадочных режимах

N/N	Характеристики	«Стриж»	«Орленок»	«Лунь»	«КМ»
1.	Взлетная масса $G_0$ , кг	1600	120000	380000	430000
2.	Площадь крыла $S$ , м <sup>2</sup>	18,2	305	550	662
3.	Скорость взлета $V_{отр}$ , км/ч	100	225	280	290
4.	Крейсерская скорость $V_{крейс}$ , км/ч	175	350	400	430
5.	Кэфф. подъемн. силы на взлете $C_{y\ max(отр)}$	1,8	1,6	1,8	1,6
6.	Кэфф. подъемн. силы крейс. $C_y$	0,6	0,67	0,9	0,73
7.	Полная тяговооруженность $\bar{T}_0 = T_0/G_0$	0,34	0,30	0,27	0,28
8.	Тяговооруженность при отрыве $\bar{T}_{отр} = T_{отр}/G_0$	0,34	0,175	0,27	0,20

**1. Численное моделирование экранной аэродинамики компоновки АСВП с АР на крейсерском и взлетных режимах**

Выполнена серия вычислительных экспериментов по исследованию обтекания полномасштабной модели АСВП с АР (рис. 1), разрабатываемого судостроительной компанией «Аэроход» (г. Нижний Новгород), на режиме крейсерского полета, а также на взлетных режимах. Механизация крыла рассмотрена как в сочетании простого закрылка и предкрылка, так и только с закрылком. Результаты вычислительных экспериментов в виде значений коэффициентов подъемной силы  $C_y$  и аэродинамического качества  $K = \frac{Y}{X}$  ( $X$  – сила сопротивления) представлены в таблице 2 (при  $\bar{h} = \frac{h}{b_a} = 0,15$ ,  $h$  – зазор между задней кромкой крыла и экраном,  $b_a$  – средняя аэродинамическая хорда крыла) и на рис. 2.

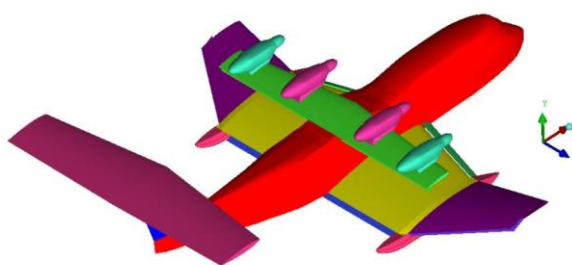


Рис. 1. Общий вид компоновки АСВП с АР

Численное моделирование обтекания компоновки АСВП с АР воздушным потоком выполнено в программном комплексе Ansys CFD. Основные положения методики численного моделирования экранной аэродинамики АСВП с АР на крейсерском и взлетном режимах движения аналогичны методике численного моделирования аэродинамики экраноплана [6]. В выполненных вычислительных экспериментах работа нагнетающих вентиляторов ВП не моделируется, поскольку носовое ограждение ВП на исследуемом режиме движения убрано.

Таблица 2

Характеристики АСВП с АР на крейсерском и взлетном режимах с различными вариантами механизации крыла и углах дифферента  $\alpha$

Режим движения	$C_y$	$K$
Крейсерский $\alpha=0^\circ$	0,84	25,6
Взлет с закрылком $\alpha=0^\circ$	1,22	6,2
Взлет с закрылком и предкрылком $\alpha=0^\circ$	1,42	10,5
Взлет с закрылком и предкрылком $\alpha=3^\circ$	1,76	9,9

Анализ результатов численного моделирования показывает, что использование предкрылка на высотах действия экранного эффекта позволяет сократить площадь зоны отрывного течения воздуха от поверхности несущего крыла АСВП с АР, снизить сопротивление аппарата и резко повысить его аэродинамическое качество  $K$  (до 70%) на взлетно-посадочных режимах. Учитывая, что тяговооруженность при отрыве  $\bar{T} = \frac{1}{K} + \Delta$ , где  $\Delta$  - избыток тяги на ускорение ( $\Delta \approx 0.05$ ), необходимая тяговооруженность АСВП с АР на режиме взлета составляет порядка  $\bar{T} = 0.15$ , что значительно меньше, чем тяговооруженность на отрыве поддувных экранопланов (таблица 1). Влияние предкрылка на коэффициент подъемной силы проявляется в меньшей степени, позволяя, тем не менее, поднять  $C_y$  до значений, близких к значениям коэффициентов подъемной силы экранопланов с поддувом на взлетных режимах (таблица 1).

В то же время согласно данным Рис. 2, вблизи экрана наблюдается слабое проявление экранного эффекта с  $\frac{dC_y}{dh} \approx 0$  на высотах движения с  $\bar{h} = 0.15 - 0.2$  и углом дифферента  $\alpha = 2^\circ$ , а также «отрицательный» экранный эффект с  $\frac{dC_y}{dh} > 0$  на тех же высотах движения с  $\alpha = 0^\circ$ . Эта тенденция кардинально отличается от характера действия экранного эффекта на крыло экраноплана на крейсерских режимах движения когда  $\frac{dC_y}{dh} < 0$ . Исследование тенденции изменения подъемной силы крыла с механизацией при приближении к подстилающей поверхности выполнено на базе анализа применения теоремы об изменении количества движения для профиля крыла у экрана.

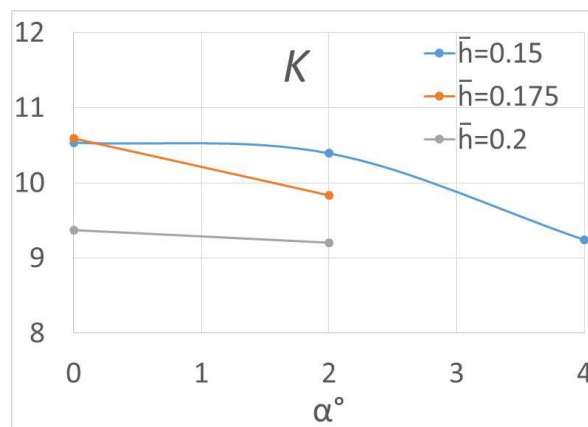
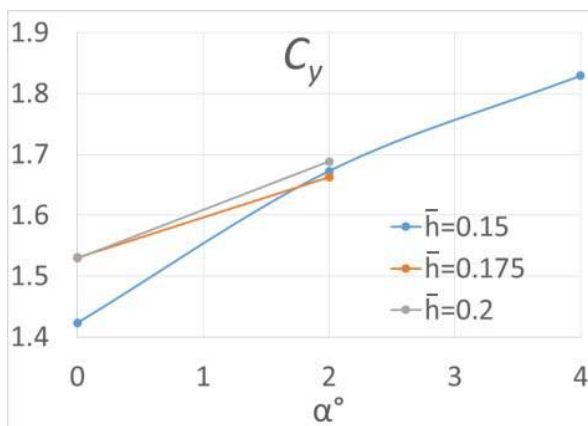


Рис. 2. Характеристики АСВП с АР на режимах взлета с механизацией крыла в виде закрылка и предкрылка в зависимости от угла тангажа  $\alpha$  на разных высотах движения

2. Анализ применения теоремы об изменении количества движения для профиля крыла у экрана

Рассматривается установившееся движение несжимаемой жидкости, обтекающей со скоростью  $\vec{V}$  плоский профиль крыла  $S$  вблизи экрана («ground», рис. 3).

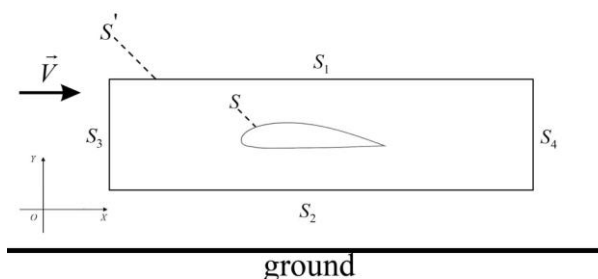


Рис. 3. К анализу теоремы об изменении количества движения

Влиянием массовых сил пренебрегается. Согласно теореме об изменении количества движения [7], гидродинамические силы, действующие на профиль со стороны потока, определяются следующим образом:

$$\vec{F} = - \int_{S_k} \rho \vec{V} V_n dS + \int_{S_k} \vec{p}_n dS, \quad (1)$$

где  $\vec{V}$  и  $V_n$  соответственно скорость и нормальная скорость жидкости на границе жидкого контура  $S_k$ , охватывающего профиль;  $\vec{p}_n$  – гидродинамические напряжения на жидком контуре.

$$Y = F_y = - \int_{S_1} \rho V_{y1} V_n dS - \int_{S_1} p_1 dS + \int_{S_2} \rho V_{y2} V_n dS + \int_{S_2} p_2 dS = F_{V1} + F_{p1} + F_{V2} + F_{p2} \quad (2)$$

Слагаемые  $F_{p1}$  и  $F_{p2}$  положительны при положительной подъемной силе вследствие соответственно разряжения на верхнем и нагнетания на нижнем контурах аэродинамического профиля. Слагаемые  $F_{V1}$  и  $F_{V2}$  также положительны, поскольку при положительной подъемной силе скосы потока отрицательны. При приближении профиля к экрану происходит изменение величин составляющих подъемной силы (2). Не только величина, но и знак приращения коэффициента подъемной силы крыла  $C_y$  определяются как результат действия двух противоположных тенденций: с одной стороны увеличения давления между крылом и экраном (увеличение слагаемого  $F_{p2}$ ), с другой стороны уменьшения скосов потока по величине (уменьшение слагаемых  $F_{V1}$  и  $F_{V2}$ ).

Если коэффициент подъемной силы крыла  $C_y$  вне зоны действия экранного эффекта имеет величину порядка 0,5 единиц, то при приближении крыла к экрану происходит рост  $C_y$  за счет преобладания тенденции изменения  $F_{p2}$  над тенденциями  $F_{V1}$  и  $F_{V2}$ : имеет место «положительный» экранный эффект. Если же  $C_y$  крыла вне экрана больше 1,1-1,3 (например, механизация выпущена), то при приближении крыла к экрану характер изменения  $C_y$  не определен. Более того, при приближении к экрану крыла с выпущенной механизацией возможен отрыв потока от крыла.

Таким образом, с выпущенной механизацией в зависимости от угла отклонения закрылков возможны варианты «положительного» экранного эффекта с  $\frac{dC_y}{dh} < 0$ , слабого влияния экрана

$\frac{dC_y}{dh} \approx 0$  и неустойчивости с  $\frac{dC_y}{dh} > 0$ . Для численной конкретизации влияния тенденций  $F_{p2}$ ,  $F_{V1}$  и  $F_{V2}$  при относительно высоких значениях коэффициента подъемной силы крыла  $C_y$  проведено моделирование аэродинамики крыла с развитой механизацией вдали и вблизи экрана.

### 3. Численное моделирование экранной аэродинамики механизированного крыла

Рассматривается установившееся обтекание крыла как вблизи подвижного экрана, так и на

Полагается, что боковые грани  $S_3$  и  $S_4$  контрольного объема  $S_k$  расположены на таком расстоянии от обтекаемого профиля, что отклонения вектора скорости от заданного горизонтального направления пренебрежимо малы. При этом подъемная сила  $Y$ , действующая на профиль, имеет вид (2).

удалении от него. Основные положения методики численного моделирования экранной аэродинамики механизированного крыла аналогичны методике численного моделирования аэродинамики экраноплана [6].

Крыло снабжено предкрылком и двухщелевым струйным закрылком. Такая развитая механизация введена, с одной стороны, для достижения высоких значений коэффициента подъемной силы, а с другой стороны – для исключения срывов потока с крыла. Крыло имеет удлинение  $\lambda = 2$ , в плане имеет форму трапеции со стреловидной передней и прямой задней кромками. Сужение крыла  $\eta = 0,463$ . Численное моделирование обтекания крыла воздушным потоком выполнено в программном комплексе Ansys CFD. Расчетное число Рейнольдса по корневой хорде крыла  $Re = 10^7$ . По результатам численного моделирования определены значения коэффициентов подъемной силы  $C_y$ .

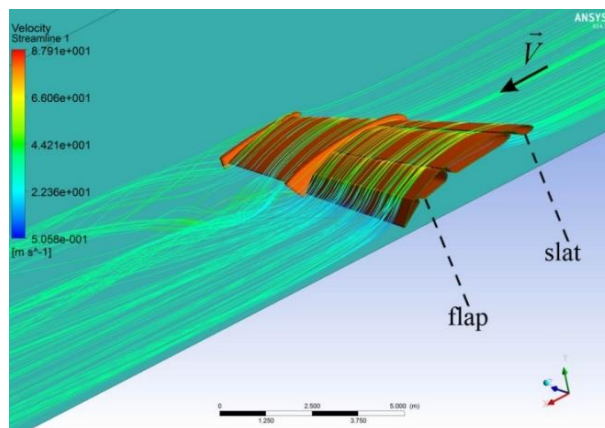


Рис. 3. Результаты численного моделирования обтекания крыла с предкрылком (slat) и двухщелевым закрылком (flap): линии тока вблизи экрана

При безотрывном обтекании максимальное достигнутое значение коэффициента подъемной силы крыла с механизацией вблизи экрана с безразмерным зазором между задней кромкой крыла и подстилающей поверхностью  $\bar{h} = 0,15$  реализуется при угле атаки 6,6 градусов и составляет  $C_y \approx 2,0$  единицы (линии тока воздуха показаны на

рис. 3). На отдалении от экрана при  $\bar{h}=1$  с безотрывным обтеканием крыла коэффициент подъемной силы составляет  $C_y \approx 2,4$ . Таким образом, приближение крыла к экрану ведет к снижению коэффициента подъемной силы  $C_y$  за счет уменьшения по величине скасов потока (тенденция изменения  $F_{v1}$ ,  $F_{v2}$  преобладает над увеличением давления между крылом и экраном – слабое  $F_{p2}$ ).

В то же время, знак величины  $\frac{dC_y}{dh} > 0$  свидетельствует о неустойчивости крыла у экрана при больших значениях  $C_y$ . Вместе с тем для крыла с механизацией существуют такие углы отклонения закрылков, при которых аппарат будет нейтрален по высоте на экранных режимах, т.е. при выпущенных на такие углы закрылках имеет место значение  $\frac{dC_y}{dh} \approx 0$ , что подтверждается результатами численного моделирования аэродинамики компоновочного варианта АСВП с АР (рис. 2).

Достигнутые значения  $C_y$  для рассмотренного в настоящей статье компоновочного варианта АСВП с АР, по-видимому, являются близкими к максимально достижимым значениям при принятой механизации крыла. Однако конкретные максимальные значения  $C_y$  компоновок экранопланов с выпущенной механизацией зависят от многих факторов (удлинение крыла, сужение крыла, высота движения над экраном и др.). Возможно, что более высокие значения  $C_y$  на взлете у экраноплана могут быть получены с использованием дополнительной энергии. Исследование влияния других способов механизации крыла с привлечением дополнительной энергии для повышения  $C_y$  вблизи экрана может представлять интерес для перспективных исследований.

### Заключение

1. Альтернативным вариантом компоновочным схемам экранопланов с поддувом является судно с крылом экраноплана и статической воздушной подушкой (для движения в контакте с подстилающей поверхностью). Результаты испытаний такого судна (АСВП с АР «Тунгус») и результаты численного моделирования компоновочного варианта АСВП с АР показывают, что переход на крейсерский режим экранного полета с режима хода на статической воздушной подушке реализуется с меньшими энергозатратами, чем отрыв от подстилающей поверхности экранопланов с поддувом.

2. Механизация несущего крыла в виде сочетания закрылка с предкрылком на взлетно-посадочных режимах аппаратов, использующих экранный эффект в крейсерском полете, позволяет снизить взлетные скорости, и, соответственно, нагрузки от контактов с опорными поверхностями без включения в компоновку схемы подду-

ва. Достигаемые значения коэффициента подъемной силы на взлетно-посадочных режимах исследованного в настоящей работе АСВП с АР  $C_y = 1,7 - 1,8$  аналогичны соответствующим значениям экранопланов с поддувом, а аэродинамическое качество использования закрылка в сочетании с предкрылком значительно выше, чем при использовании поддува.

3. Механизация несущего крыла существенно влияет на характер действия экранного эффекта. С выпущенной механизацией в зависимости от угла отклонения закрылков возможны варианты «положительного» экранного эффекта с  $\frac{dC_y}{dh} < 0$ ,

слабого влияния экрана  $\frac{dC_y}{dh} \approx 0$  и неустойчиво-

сти с  $\frac{dC_y}{dh} > 0$ , что необходимо учитывать при проектировании компоновок экранопланов.

### Литература

1. Маскалик, А.И. Экранопланы: транспортные суда 21 века / А.И. Маскалик, Р.А. Нагапетян, В.В. Иваненко, А.Г. Бутлицкий, В.В. Томилин, А.И. Лукьянов – СПб. : Судостроение, 2005 – 576 с. – с. 43.
2. Rozhdestvensky, K.V. Wing-in-ground effect vehicle. – Progress in Aerospace Sciences. – № 42. – 2006. – p. 211-283.
3. АСВП с АР проекта «Тунгус» / Сайт ООО Судостроительная компания «Аэроход» URL: <http://www.aerohod.ru/asvp-tungus.html> (дата обращения 03.03.2017).
4. Кальясов, П.С. Математическое моделирование аэрогидродинамики амфибийного судна на воздушной подушке с аэродинамической разгрузкой на режиме хода на воздушной подушке / П. С. Кальясов, А.В. Февральских, В.В. Шабаров // Проблемы прочности и пластичности – 2014. – № 76 (3). – ISSN 1814-9146. – с. 263 - 268.
5. Кальясов, П.С. Сравнение аэродинамических характеристик, полученных по результатам компьютерного моделирования и натуральных испытаний АСВП с АР / П.С. Кальясов, М.В. Кудин, А.В. Туманин, А.В. Февральских // Современные технологии в кораблестроительном и авиационном образовании, науке и производстве: сборник докладов Всероссийской научно-практ. конф.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2016. – 652 с. – ISBN 978-5-502-00824-2 – с. 238 – 245.
6. Блохин, В.Н. Применение методов вычислительного эксперимента для определения аэродинамических характеристик экраноплана на крейсерском режиме движения / В.Н. Блохин, В.М. Прохоров, П.С. Кальясов, А.К. Якимов, А.В. Туманин, В.В. Шабаров // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2012. – №3. – URL: [http://www.unn.ru/pages/e-library/vestnik/99999999\\_West\\_2012\\_3/25.pdf](http://www.unn.ru/pages/e-library/vestnik/99999999_West_2012_3/25.pdf) (дата обращения 12.02.2017).
7. Войткунский, Я.И. Гидромеханика / Я.И. Войткунский, Ю.И. Фаддеев, К.К. Федяевский – Л.: Судостроение, 1982. – 456 с. – с. 57-60.

### References

1. Maskalik A.I. Wing-in-ground effect vehicles – transport ships of 21th century. SPb., Sudostroenie, 2005, 576 p.
2. Rozhdestvensky K.V. Wing-in-ground effect vehicle. Progress in Aerospace Sciences, № 42, 2006, p.p. 211-283.
3. Wing-in-ground effect air cushion vehicle «Tungus». Web page of Shipbuilding company AEROHOD Ltd. URL: <http://www.aerohod.ru/asvp-tungus.html>.
4. Kalyasov P. S., Fevral'skikh A. V., Shabarov V. V. Mathematical modeling of aerohydrodynamic of amphibious air-cushion vehicle with aerodynamic unloading on cushion regime. The problems of strength and plasticity, № 76 (3), 2014, p.p. 263 - 268.
5. Kalyasov P. S., Kudin M.V., Tumanin A.V., Fevral'skikh A. V. Aerodynamical characteristics of ground effect howercraft: mathematical modelling and experimental data. Modern technologies in shipbuilding and aircraft education, science and production: proceedings of World science conference devoted to the 100th anniversary of R.E. Alekseev. Nizhny Novgorod, 2016, p.p. 238 – 245.
6. Blohin V. N., Prohorov V. M., Kalyasov P. S., Yakimov A. K., Tumanin A.V., Shabarov V. V. The application of computer simulation for the determination of WIG craft aerodynamic characteristics in a cruising regime. Vestnik of Lobachevsky state university of Nizhny Novgorod. №3, 2012. URL: [http://www.unn.ru/pages/e-library/vestnik/99999999\\_West\\_2012\\_3/25.pdf](http://www.unn.ru/pages/e-library/vestnik/99999999_West_2012_3/25.pdf).
7. Voytkunsky Y.I., Faddeev Y.I., Fedyaevsky K.K. Hydromechanics. Leningrad, Shipbuilding, 1982, p.p. 57-60.

УДК 539.3:534.1

## ВЛИЯНИЕ МАЛОЙ РАЗНОТОЛЩИННОСТИ НА ИЗГИБНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ОБОЛОЧКИ

**Тарануха Николай Алексеевич**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой кораблестроения  
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет  
681013, Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина 27  
тел.: (4217) 24-11-42; e-mail: taranukha@knastu.ru

**Гневашева Нина Борисовна**

соискатель кафедры кораблестроения  
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет  
681013, Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина 27  
тел.: (4217) 24-11-42; e-mail: prikhodykonina@mail.ru

**Журбина Ирина Николаевна**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры кораблестроения  
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет  
681013, Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, 27  
тел. (4217) 24-11-42; e-mail: zhurbina-irina@mail.ru

### Аннотация

Рассматривается круговая цилиндрическая тонкостенная оболочка. Оболочка имеет начальные неправильности в виде изменения толщины. Изменение толщины заданное, малое и регулярное. Моделирование оболочки производится методом конечных элементов.

В программном комплексе ANSYS Workbench изучается влияние малой разнотолщинности на частоты изгибных колебаний бесконечно длинной оболочки (тонкого кольца, находящегося в условиях плоской деформации) и короткой оболочки, шарнирно опертой по краям.

Установлено, что в обоих случаях разнотолщинность в окружном направлении приводит к нежелательному расщеплению изгибного частотного спектра, при этом меньшая из расщепленных собственных частот оказывается ниже собственной частоты оболочки постоянной толщины.

Предложено уточнение традиционной математической модели для случая бесконечно длинной оболочки с переменной толщиной стенки. Результаты нового теоретического анализа подтвердили данные численного расчета, как качественно, так и количественно.

**Ключевые слова:** круговая цилиндрическая оболочка, малая разнотолщинность, расщепление частотного спектра.

## THE EFFECT OF A SMALL THICKNESS VARIATION ON FLEXURAL VIBRATIONS OF THE SHELL

**Taranukha Nikolay Alekseevich**

Dr.Sci.Tech., professor, head of the Shipbuilding of Department  
Komsomolsk-na-Amure State Technical University  
Lenina, 27, St. Komsomolsk-na-Amure 681013, Russian Federation  
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail: taranukha@knastu.ru

**Gnevasheva Nina Borisovna**

applicant of the Shipbuilding of Department  
Komsomolsk-na-Amure State Technical University  
Lenina, 27, St. Komsomolsk-na-Amure 681013, Russian Federation  
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail: prikhodykonina@mail.ru

**Zhurbina Irina Nikolaevna**

Cand. Sci. Phys.-Math., associate professor of the Shipbuilding of Department  
Komsomolsk-na-Amure State Technical University  
Lenina, 27, St. Komsomolsk-na-Amure 681013, Russian Federation  
tel.: (4217) 24-11-42; e-mail: zhurbina-irina@mail.ru



**Abstract**

The circular cylindrical thin-walled shell is considered. The shell has initial abnormality in the form of change of thickness. Change of thickness set, small and regular. Modelling of an shell is made by a finite element method.

In ANSYS Workbench, the influence of a small thickness variation on frequencies of flexural vibrations of infinitely long shell (thin ring in plane strain conditions) and a short shell, simply supported at the edges.

It is established that in both cases, the thickness variation in the circumferential direction leads to an undesirable splitting of the flexural frequency spectrum, the smaller of the split Eigen frequencies is below the natural frequency of the shell of constant thickness.

Proposed update of the traditional mathematical model for the case of an infinitely long shell with variable wall thickness. The results of a new theoretical analysis confirmed the data of numerical calculation, both qualitatively and quantitatively.

**Key words:** circular cylindrical shell, a small thickness variation, the splitting of the frequency spectrum.

**Введение**

Реальные оболочки вследствие технологических или конструктивных особенностей имеют начальные неправильности и, в частности, малую начальную разнотолщинность [1–8], которая, согласно известным опытным данным, может привести к ухудшению динамических характеристик. Однако в некоторых теоретических работах – [3, 4], посвященных данной проблеме, считается, что незначительная регулярная разнотолщинность, напротив, увеличивает обобщенную жесткость оболочки.

Ниже на основе численного расчета изгибных колебаний для бесконечно длинной оболочки (тонкого кольца, находящегося в условиях плоской деформации) и короткой оболочки, шарнирно опертой по краям, а также нового теоретического анализа этот вывод ставится под сомнение.

**1. Численное моделирование методом конечных элементов**

В программном комплексе ANSYS Workbench определены значения частот изгибных колебаний для двух задач. В первой рассматривается бесконечно длинная оболочка (тонкое кольцо, находящееся в условиях плоской деформации); во второй – короткая оболочка, шарнирно опертая по краям.

Толщина обеих оболочек изменяется по закону (рис. 1):

$$h(y) = h + 2A_0 \sin(n_0 y/R), \quad (1)$$

где  $h=0,005$  м – толщина идеальной оболочки ( $R/h=200$ );  $2A_0=0,001$  м – наибольшее отклонение

толщины несовершенной оболочки от ее номинального значения, равного  $h$  ( $A_0 \ll h$ );  $n_0=8$  – число «усилений» и (или) «ослаблений»;  $y$  – круговая координата;  $R=1$  м – радиус оболочки.

В качестве материала была принята сталь: плотность  $\rho=7850$  кг/м<sup>3</sup>; модуль Юнга  $E=2 \cdot 10^{11}$  Па и коэффициент Пуассона  $\mu=0,3$ .

Результаты численного расчета двух задач приведены в табл. 1.

Отметим, что значения частот вычислены при условии, что массы и количество элементов соответствующих идеальных и разнотолщинных оболочек равны.

Чтобы сопоставить полученные значения частот приведем их к безразмерному виду:

$$\Omega_{01n}^2 = (\lambda_{01n}/\lambda_n)^2; \quad \Omega_{02n}^2 = (\lambda_{02n}/\lambda_n)^2$$

и представим графически (рис 2).

На графике сплошная горизонтальная линия  $\Omega_n^2=1$  отвечает идеальной оболочке. Пунктирная и сплошная линии с кружочками отражают значения частот разнотолщинной бесконечно длинной оболочки –  $\Omega_{01нбеск.дл.о}^2$  и  $\Omega_{02нбеск.дл.о}^2$ , а пунктирная и сплошная линии с квадратиками – значения частот разнотолщинной короткой оболочки шарнирно опертой по краям –  $\Omega_{01нкор.о}^2$  и  $\Omega_{02нкор.о}^2$ .

Из рис. 2 видно, что разнотолщинность, как в первом, так и во втором случаях приводит к расщеплению изгибного частотного спектра. Это расщепление имеет место только тогда, когда число «усилений» и (или) «ослаблений»  $n_0$  в два раза больше числа образующихся окружающих волн  $n$ , а также при  $n_0=n$ . К аналогичным выводам приходят и авторы работ [3, 4].

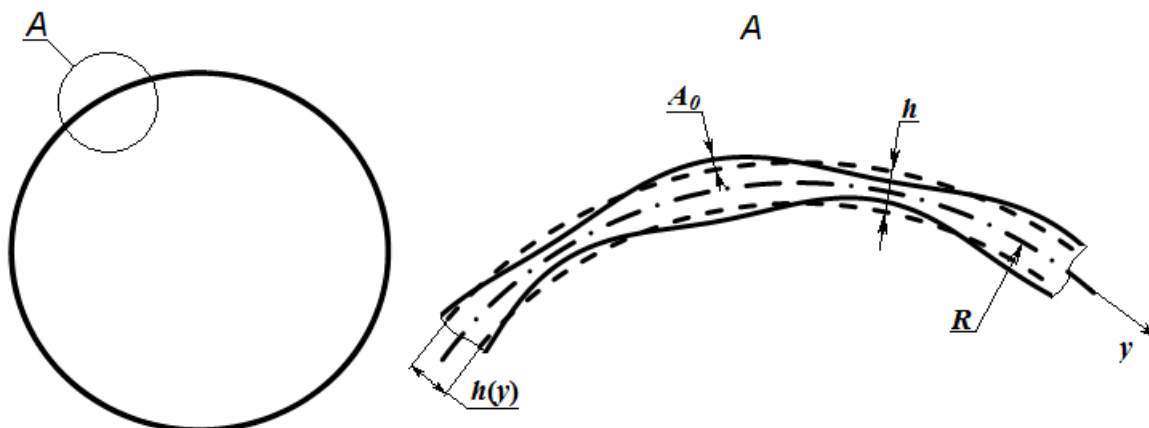


Рис. 1. Геометрические параметры разнотолщинной оболочки

Таблица 1

Значения собственных изгибных частот идеальной и разнотолщинной оболочек

n	Бесконечно длинная оболочка (тонкое кольцо, находящееся в условиях плоской деформации) L/R=0,1			Короткая оболочка шарнирно опертая по краям L/R=0,6		
	Идеальная оболочка	Разнотолщинная оболочка		Идеальная оболочка	Разнотолщинная оболочка	
	$\lambda_n$ , Гц	$\lambda_{01n}$ , Гц	$\lambda_{02n}$ , Гц	$\lambda_n$ , Гц	$\lambda_{01n}$ , Гц	$\lambda_{02n}$ , Гц
2	3,1	2,9	3,0	697,3	711,1	712,4
3	8,8	8,4	8,4	600,1	630,7	631,4
4	16,9	14,7	18,2	504,2	426,0	586,4
5	27,4	27,1	27,1	420,5	392,5	393,0
6	40,2	39,8	39,8	352,5	338,0	339,0
7	55,3	54,8	54,8	300,4	291,3	291,7
8	72,7	70,9	73,1	263,4	254,1	258,9
9	92,5	91,9	92,0	240,5	233,9	234,2
10	114,6	113,8	114,2	230,6	223,2	223,4

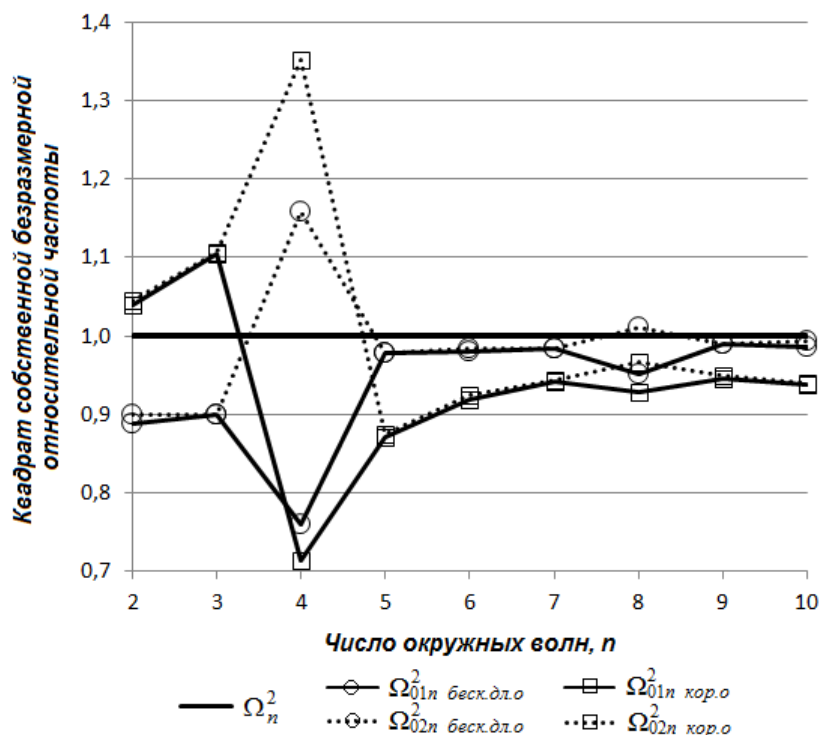


Рис. 2. Сопоставление значений квадрата собственной безразмерной относительной частоты бесконечно длинной и короткой оболочек

Однако численный анализ свидетельствует о том, что меньшая из расщепленных собственных частот всегда ниже собственной частоты идеальной оболочки, в то время как в [3, 4] отмечается, что возможно как увеличение (при  $n_0=n$ ), так и уменьшение (при  $n_0=2n$ ) низшей из расщепленных собственных частот по сравнению с частотой идеальной оболочки.

Если  $n_0 \neq n$ , то расщепление частотного спектра оболочки практически отсутствует, как в первой, так и во второй задачах.

Также необходимо отметить, что для короткой оболочки шарнирно опертой по краям расщепление частот при  $n_0=2n$  оказывается больше, чем для бесконечно длинной оболочки. А для случая  $n_0=n$ , отмечается снижение обеих из расщепленных собственных частот в сравнении с частотой колебаний идеальной оболочки.

**2. Уточнение традиционной математической модели для случаев  $n_0=n$  и  $n_0=2n$**

Ниже приведем новое теоретическое решение о собственных изгибных колебаниях бесконечно длинной оболочки (тонкого кольца, находящегося в условиях плоской деформации) с регулярно изменяющейся толщиной.

Предположим, что при  $n_0=n$  и  $n_0=2n$  необходимо учитывать взаимодействие изгибных форм с разным числом окружных волн  $n$ . Таким образом, в отличие от работы [4] аппроксимируем прогиб бесконечно длинной оболочки переменной толщины выражением:

$$w(y, t) = C_1(t)\sin(ny/R) + C_2(t)\cos(ny/R) + D_1(t)\sin(2ny/R) + D_2(t)\cos(2ny/R), \quad (2)$$

где  $C_1(t)$ ,  $C_2(t)$ ,  $D_1(t)$ ,  $D_2(t)$  – неизвестные обобщенные координаты, зависящие от времени  $t$ .

Согласно (2) считается, что разнотолщинность может привести к взаимодействию двух пар сопряженных изгибных форм, сдвинутых в окружном направлении на угол  $\pi/2n$ . Отметим, что первые две сопряженные формы являются формами собственных колебаний идеальной бесконечно длинной оболочки с числом волн  $n$ , которым, как известно, соответствует одна и та же собственная частота

$$\lambda_n = \sqrt{Dn^4 / (\rho h R^4)}, \quad (3)$$

где  $D = Eh^3 / [12(1-\mu^2)]$  – цилиндрическая жесткость.

Третья и четвертая формы в (2) являются формами колебаний с числом волн  $2n$ , которым соответствует собственная частота  $\lambda_{2n} = 4\lambda_n$ . Таким образом, в настоящей работе, в отличие от [3, 4], учитываются не только «медленные», но и малозаметные «быстрые» колебания [5].

Уравнения, описывающие изгибные колебания разнотолщинной бесконечно длинной оболочки, получим с помощью уравнений Лагранжа:

$$\begin{aligned} (d/dt)(\partial T/\partial \dot{C}_i) - \partial T/\partial C_i &= -\partial \Pi/\partial C_i; \\ (d/dt)(\partial T/\partial \dot{D}_i) - \partial T/\partial D_i &= -\partial \Pi/\partial D_i; \end{aligned} \quad (4)$$

$i = 1, 2,$

где  $C_i, D_i$  – обобщенные координаты;  $T, \Pi$  – кинетическая и потенциальная энергии, соответственно.

Будем считать, что длина контура бесконечно длинной оболочки практически не изменяется. Это допущение позволяет записать выражения для потенциальной и кинетической энергий равными:

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{2} \int_0^{2\pi R} D(y) (\partial^2 w/\partial y^2)^2 dy; \\ \Gamma &= \frac{1}{2} \int_0^{2\pi R} \rho h(y) \dot{w}^2 dy, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $D(y) = Eh(y)^3/[12(1-\mu^2)]$  – цилиндрическая жесткость несовершенной бесконечно длинной оболочки.

Подстановка (1) и (2) в (4), с учетом (5), приводит к модальным уравнениям, описывающим собственные изгибные колебания несовершенной бесконечно длинной оболочки. Их вид зависит от соотношения между  $n_0$  и  $n$ :

Для случая  $n_0=n$

$$\begin{aligned} \ddot{c}_1 - a_0 \ddot{d}_2 + (1 + 9a_0^2)c_1 - 4a_0(3 + 4a_0^2)d_2 &= 0; \\ \ddot{d}_2 - a_0 \ddot{c}_1 + 16(1 + 6a_0^2)d_2 - 4a_0(3 + 4a_0^2)c_1 &= 0; \\ \ddot{c}_2 + a_0 \ddot{d}_1 + (1 + 3a_0^2)c_2 + 4a_0(3 + 2a_0^2)d_1 &= 0; \\ \ddot{d}_1 + a_0 \ddot{c}_2 + 16(1 + 6a_0^2)d_1 + 4a_0(3 + 2a_0^2)c_2 &= 0. \end{aligned} \quad (6a)$$

Для случая  $n_0=2n$

$$\begin{aligned} \ddot{c}_1 + a_0 \ddot{c}_2 + (1 + 6a_0^2)c_1 + 3a_0(1 + a_0^2)c_2 &= 0; \\ \ddot{c}_2 + a_0 \ddot{c}_1 + (1 + 6a_0^2)c_2 + 3a_0(1 + a_0^2)c_1 &= 0. \end{aligned} \quad (6б)$$

Точками в (6а–6б) обозначено дифференцирование по безразмерному времени  $\tau = \lambda_n t$ ,  $c = C/h$ ,  $d = D/h$  – безразмерные обобщенные координаты;  $a_0 = A_0/h$  – безразмерная амплитуда начальных несовершенств.

Анализ динамических уравнений (6а–6б) свидетельствует о том, что в случаях  $n_0=n$  и  $n_0=2n$  имеет место взаимосвязанность изгибных форм. При этом в (6а) взаимосвязанными оказываются несопряженные изгибные формы  $\sin(ny/R)$  и  $\cos(2ny/R)$ , а также  $\cos(ny/R)$  и  $\sin(2ny/R)$ , а в (6б) – сопряженные изгибные формы  $\sin(ny/R)$  и  $\cos(ny/R)$ . Связь соответствующих координат в обоих случаях носит как инерционный, так и упругий характер. Отметим также, что, для случая  $n_0=n$ , учет быстрых колебаний в (2) привел к отличной от работ [3, 4] системе модальных урав-

нений, а в случае  $n_0=2n$ , система полученных модальных уравнений совпала с результатом в [4].

### 3. Частоты и формы собственных колебаний

Частотное уравнение для случая  $n_0=n$ , отвечающее первым двум уравнениям (6а), имеет вид

$$\begin{aligned} (1 + 9a_0^2 - \Omega_0^2)[16(1 + 6a_0^2) - \Omega_0^2] - \\ - a_0^2[4(3 + 4a_0^2) - \Omega_0^2]^2 = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

А третьему и четвертому –

$$\begin{aligned} (1 + 3a_0^2 - \Omega_0^2)[16(1 + 6a_0^2) - \Omega_0^2] - \\ - a_0^2[4(3 + 2a_0^2) - \Omega_0^2]^2 = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Квадраты собственных безразмерных частот, соответствующие уравнениям (7) и (8), могут быть вычислены по следующим приближенным формулам:

$$\begin{aligned} \Omega_{01n}^2 &= (\lambda_{01n}/\lambda_n)^2 = 1 - 5a_0^2; \\ \Omega_{02n}^2 &= (\lambda_{02n}/\lambda_n)^2 = 1 + a_0^2; \\ \Omega_{012n}^2 &= \Omega_{022n}^2 = (\lambda_{012n}/\lambda_{2n})^2 = \\ &= (\lambda_{022n}/\lambda_{2n})^2 = 16 + 100a_0^2. \end{aligned} \quad (9)$$

При этом частоты  $\Omega_{01n}$  и  $\Omega_{012n}$  отвечают уравнению (8), а  $\Omega_{02n}$  и  $\Omega_{022n}$  – (7).

Из (9) видно, что низшая из расщепленных собственных частот  $\Omega_{01n}$  всегда меньше, а высшая  $\Omega_{02n}$  – всегда больше частоты собственных колебаний бесконечно длинной оболочки  $\Omega_n = 1$ .

Расстройка квадратов собственных частот равна  $\Omega_{02n}^2 - \Omega_{01n}^2 = 6a_0^2$ .

Таким образом, для случая  $n_0=n$  учет «быстрых» колебаний в конечномерной модели привел к новой системе модальных уравнений отличной от традиционного решения и, как следствие, к новым выражениям для определения собственных частот колебаний. Согласно этим выражениям разнотолщинность расщепляет изгибный частотный спектр. Однако, в отличие от традиционного решения [4], низшая из расщепленных собственных частот – меньше частоты колебаний идеальной бесконечно длинной оболочки ( $\Omega_{01n} < \Omega_n = 1$ ).

Расстройка собственных частот разнотолщинной бесконечно длинной оболочки зависит только от амплитуды малых начальных несовершенств  $a_0$  и увеличивается с ее ростом.

Частотное уравнение для случая  $n_0=2n$ , отвечающее системе (6б), имеет вид

$$[1 + 6a_0^2 - \Omega_0^2] - a_0^2[3(1 + a_0^2) - \Omega_0^2]^2 = 0. \quad (10)$$

Квадраты собственных безразмерных частот, соответствующие уравнению (10) могут быть вычислены по следующим приближенным формулам:

$$\begin{aligned} \Omega_{01n}^2 &= (\lambda_{01n}/\lambda_n)^2 = \\ &= [1 - 3a_0(1 - a_0)^2] / (1 - a_0); \\ \Omega_{02n}^2 &= (\lambda_{02n}/\lambda_n)^2 = \\ &= [1 + 3a_0(1 + a_0)^2] / (1 + a_0). \end{aligned} \quad (11)$$

Из (11) видно, что первая из расщепленных собственных частот меньше частоты идеального кольца  $\Omega_n^2=1$ , а вторая больше. При этом расстройка частот составляет

$$\Omega_{02n}^2 - \Omega_{01n}^2 = 2a_0(2 - 3a_0^2) / (1 - a_0^2).$$

Таким образом, для случая  $n_0=2n$  учет «быстрых» колебаний в конечномерной модели привел к аналогичным традиционному решению [4] выражениям для определения собственных частот колебаний. Согласно этим выражениям разнотолщинность расщепляет изгибный частотный спектр; при этом низшая из расщепленных собственных частот  $\Omega_{01n} < \Omega_n=1$ , а высшая –  $\Omega_{02n} > \Omega_n=1$ .

Расстройка частот разнотолщинной бесконечно длинной оболочки также зависит только от

амплитуды малых начальных несовершенств  $a_0$  и увеличивается с ее ростом.

Теперь сопоставим полученные теоретические данные с результатами численного расчета для бесконечно длинной оболочки (тонкого кольца, находящегося в условиях плоской деформации) и короткой оболочки шарнирно опертой по краям. Для этого определим значения собственных частот по формулам (9) и (11) при  $a_0=0,1$ . Результаты сведем в табл. 2 и отразим на графике (рис. 3).

Сравним значения частот колебаний бесконечно длинной оболочки (тонкого кольца, находящегося в условиях плоской деформации), полученные численно, с новым теоретическим решением. Для случая  $n_0=n$  значения частот практически совпали:  $\Omega_{01n=8\text{теор}}^2 \approx \Omega_{01n=8\text{беск.дл.о.}}^2$ ;  $\Omega_{02n=8\text{теор}}^2 \approx \Omega_{02n=8\text{беск.дл.о.}}^2$ . Для случая  $n_0=2n$  частоты, полученные по формулам (11), оказались несколько выше частот, полученных численно:  $\Omega_{01n=4\text{теор}}^2 > \Omega_{01n=4\text{беск.дл.о.}}^2$ ;  $\Omega_{02n=4\text{теор}}^2 > \Omega_{02n=4\text{беск.дл.о.}}^2$ . При этом расстройки собственных частот практически совпадают:  $(\Omega_{02n=4\text{беск.дл.о.}}^2 - \Omega_{01n=4\text{беск.дл.о.}}^2) \approx (\Omega_{02n=4\text{теор}}^2 - \Omega_{01n=4\text{теор}}^2) = 2a_0(2 - 3a_0^2) / (1 - a_0^2)$ .

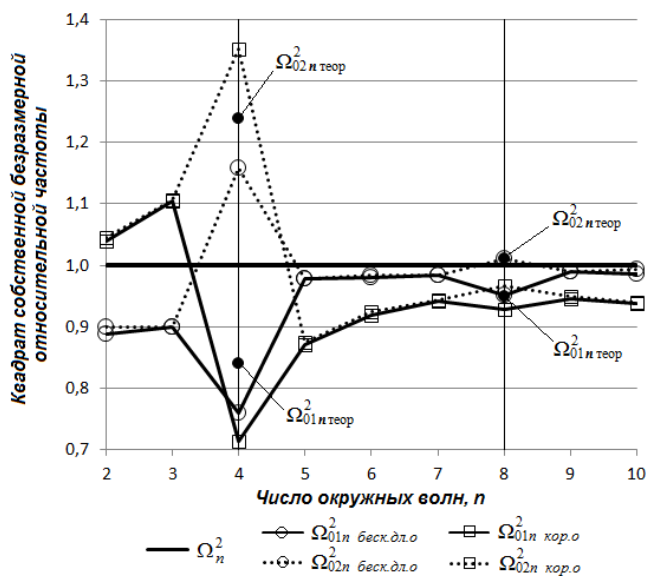


Рис. 3 – Сопоставление нового теоретического решения с результатами численного расчета

Таблица 2  
Значения собственных изгибных частот для бесконечно длинной оболочки при  $a_0 = 0,1$ , полученные теоретически

$n_0 = 8; n = 4; \text{формулы (11)}$	
$\Omega_{01n}^2 = [1 - 3a_0(1 - a_0)^2] / (1 - a_0)$	0,841
$\Omega_{02n}^2 = [1 + 3a_0(1 + a_0)^2] / (1 + a_0)$	1,239
$n_0 = 8; n = 8; \text{формулы (9)}$	
$\Omega_{01n}^2 = 1 - 5a_0^2$	0,950
$\Omega_{02n}^2 = 1 + a_0^2$	1,010

### Заключение

Переменная жесткость в окружном направлении может привести к расщеплению изгибного частотного спектра, расширяющего резонансную область, что нежелательно с точки зрения динамической прочности. При этом низшая из расщепленных собственных частот всегда меньше частоты соответствующей идеальной оболочки.

Учет в конечномерной модели для бесконечно длинной оболочки малозаметных «быстрых» колебаний привел к отличному от традиционного решения [3, 4] результату: меньшая из расщепленных собственных частот ниже частоты соответствующей идеальной оболочки.

Теоретическое исследование показало, что уточнение математической модели для случая  $n_0=n$  позволило получить решение качественно и количественно согласующееся с данными численного расчета.

Выражения, полученные для определения собственных частот разнотолщинной бесконечно длинной оболочки (тонкого кольца, находящегося в условиях плоской деформации), могут быть использованы в расчетах первого приближения.

Также отметим, что несоответствие значений частот, полученных для короткой оболочки шарнирно опертой по краям, теоретическим частотам, говорит о необходимости учитывать в тео-

рии длину оболочки и наличие граничных условий

А для случая  $n_0=2n$  исследование показало, что в конечномерной модели достаточно учесть сопряженные изгибные формы отвечающие только «медленным» колебаниям, так как учет дополнительных «быстрых» колебаний не дает более точного результата.

Анализ модальных уравнений показал, что разнотолщинность приводит к связанности несопряженных и сопряженных изгибных форм и является механизмом, который «запускает» инерционное и упругое взаимодействие изгибных колебаний.

### Литература

1. Кубенко, В.Д. Нелинейное взаимодействие форм изгибных колебаний цилиндрических оболочек / В.Д. Кубенко, П.С. Ковальчук. – Киев: Наукова думка, 1984, 220 с.
2. Кубенко, В.Д. Нелинейные задачи колебаний тонких оболочек (Обзор) / В.Д. Кубенко, П.С. Ковальчук // Прикладная механика. – Киев, 1998. – №8 (34). с. 3-31.
3. Тарануха, Н.А. Новые решения в динамике «неправильных» оболочек / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович. – Владивосток: Дальнаука, 2007, 203 с.
4. Тарануха, Н.А. Влияние малой разнотолщинности на собственные изгибные колебания тонкого кругового кольца. / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович, Н.А. Козловская // Морские интеллектуальные технологии. – Санкт-Петербург, 2012. – № 2 (16), с. 33-36.
5. Блехман, И.И. Вибрационная механика / И.И. Блехман – М.: Физико-математическая литература, 1994, 400 с.
6. Тарануха Н.А. О влиянии начальных отклонений от идеальной круговой формы цилиндрических оболочек на собственные изгибные колебания / Н.А. Тарануха, Г.С. Лейзерович // Прикладная механика и техническая физика. 2001. Т. 42. № 2 (246). С. 180-187.
7. Лейзерович Г.С. Неочевидные особенности динамики круговых цилиндрических оболочек / Г.С. Лейзерович, Н.А. Тарануха // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2008. № 2. С. 96-105.
8. Тарануха Н.А. Влияние малой осесимметричной разнотолщинности на радиальные колебания коротких круговых цилиндрических оболочек / Н.А. Тарануха, Н.Б. Гневашева, И.Н. Журбина, Гуо Дзюнь // Морские интеллектуальные технологии. – Санкт-Петербург, 2017. – № 1 (35). Т. 1, с. 14-21.

### References

1. Kubenko, V.D. Nelineynoe vzaimodeystvie form izgibnykh kolebaniy cilindricheskikh obolochek (Nonlinear interaction of forms of flexural vibrations of cylindrical shells) / V.D. Kubenko, P.S. Kovalchuk. – Kiev: Naukova Dumka, 1984, 220 p.
2. Kubenko, V.D. Nelineynye zadachi kolebaniy tonkich obolochek (Obzor) (Nonlinear problems of vibrations of thin shells (Review)) / V.D. Kubenko, P.S. Kovalchuk // Applied mechanics. – Kiev, 1998. – №8 (34). Pp. 3-31.
3. Taranukha, N.A. Novye resheniya v dinamike «nepravil'nykh» obolochek (New solutions in the dynamics of «irregular» shells) / N.A. Taranukha, G.S. Leyzerovich. – Vladivostok: Dal'nauka, 2007, 203 p.
4. Taranukha, N.A. Vliyanie maloy raznotolshchinnosti na sobstvennyye izgibnye kolebaniya tonkogo krugovogo kol'tsa (The Effect of a small thickness variation on free Flexural vibrations of thin circular rings) / N.A. Taranukha, G.S. Leyzerovich, N.A. Kozlovskaya // Morskie intellektual'nye tekhnologii. – St-Petersburg, 2012. – № 2 (16). Pp. 33-36.
5. Blekhman, I.I. Vibratsionnaya mekhanika (Vibrational mechanics) / I.I. Blekhman – M.: Fiziko-matematicheskaya literatura, 1994, 400 p.
6. Taranukha N.A. Effect of initial imperfections on the flexural eigenvibrations of cylindrical shells / N.A. Taranukha, Leizerovich G.S. // Journal of applied mechanics and technical physics. 2001. T. 42. No 2. Pp. 345-351.
7. Leizerovich G.S. Nonobvious features of dynamics of circular cylindrical shells / G.S. Leizerovich, N.A. Taranukha // Mechanics of solids. 2008. T 43. No 2. Pp. 246-243.
8. Taranukha N.A. Vliyanie maloy osesimmetrichnoi raznotolshchinnosti na radialnye kolebaniya korotkikh krugovykh cilindricheskikh obolochek (Effect of small axissymmetric thickness variation on radial fluctuations of short circular cylindrical shells) / N.A. Taranukha, N.B. Gnevasheva, I.N. Zhurbina, Guo Jun // Morskie intellektual'nye tekhnologii. – St-Petersburg, 2017. – No 1 (35). T. 1. Pp. 14-21.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ**

УДК 629.5.04+613.6

**ФОРМИРОВАНИЕ ЖИЛОЙ ЗОНЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОРАБЛЕЙ****Плахов Николай Николаевич**

доктор медицинских наук, профессор, старший научный сотрудник  
НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ  
«Военно-морская академия им. Н.Г.Кузнецова»,  
профессор кафедры медико-валеологических дисциплин факультета  
безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО РГПУ им. А.И.Герцена  
191186, Санкт-Петербург, наб.реки Мойки, 48  
e-mail: [nikplakhov@yandex.ru](mailto:nikplakhov@yandex.ru)

**Аннотация**

В статье представлены результаты сравнительного анализа двух подходов к формированию условий жизнедеятельности специалистов на кораблях и судах: первый – технократический, остаточный; второй – блочно-модульный. В отечественном кораблестроении сохраняется традиционный подход к распределению объёмов корпуса корабля для создания жилой зоны в местах, оставшихся незанятыми главной энергетической установкой, боевыми и техническими средствами, то есть по остаточному принципу. Это не позволяет рационально организовать пространство жилой зоны кораблей по функциональному назначению, проводить эффективные мероприятия по обеспечению полноценного отдыха и реабилитации корабельных специалистов. В связи с возрастанием роли «человеческого фактора» в сложной антропотехнической системе «экипаж-корабль» необходим кардинальный поворот от традиционного экстенсивного, технократического конструирования на основе учета нормативных величин и накопления вариантов защитных мероприятий к интенсивному, человекоориентированному подходу в части совершенствования обитаемости путем принятия оптимизирующих конструкторских решений. В работе обоснованы следующие выводы: объёмы корпуса корабля, отводимые для жилой зоны должны занимать в конструкторских решениях равный иерархический уровень с размещением боевых и технических средств; помещения жилой зоны должны быть скомпонованы в жилые блоки, конструкция которых обеспечивает, по возможности, применение модульной обстройки и отделки; целесообразно проведение исследовательского макетирования в рамках научно-исследовательской работы с целью получения объективных критериев на основе сравнительного анализа конструкторских решений (по остаточному и блочно-модульному принципам компоновки).

**Ключевые слова:** перспективные корабли Военно-Морского Флота, кораблестроение, система «экипаж-корабль», корабельные специалисты, условия жизнедеятельности, профессиональная работоспособность, жилая зона, блочно-модульный принцип.

**FORMATION OF THE RESIDENTIAL AREA OF THE PERSPECTIVE SHIPS****Plakhov Nikolay Nikolayevich**

doctor meditsinskikh nauk, professor, starshiy nauchnyy sotrudnik NII  
korablestroeniya i vooruzheniya VMF VUNTS VMF "Voyenno-morskaya  
akademiya im. N.G.Kuznetsova",  
professor kafedry mediko-valeologicheskikh distsiplin fakul'teta bezopasnosti  
zhiznedeyatel'nosti FGBOU VO RGPU im. A.I.Gertsena, 191186,  
Sankt-Peterburg, nab.reki Moyki, 48  
e-mail: [nikplakhov@yandex.ru](mailto:nikplakhov@yandex.ru)

**Abstract**

The article presents the results of a comparative analysis of two approaches to the formation of living conditions of specialists on ships and vessels: the first - technocratic, residual; The second is block-modular. In the domestic shipbuilding, the traditional approach to the distribution of ship hull volumes is preserved to create a residential zone in places left unoccupied by the main power plant, combat and technical means, that is, by the residual principle. This does not allow rationally organize the space of the residential zone of ships for functional purposes, carry out effective measures to ensure full rest and rehabilitation of ship specialists. In connection with the increasing role of the "human factor" in the complex anthropotechnical "crew-ship" system, a cardinal turn from the traditional extensive, technocratic design based on the accounting of normative values and the accumulation of options for protective measures to an intensive, human-centered approach to improving habitability by adopting optimizing design Solutions. The following conclusions are grounded in the work: the ship hull volumes allocated for the residential zone should occupy an equal hierarchical level in the design solutions with the deployment of military and technical means; The premises of the residential area should be arranged in residential blocks, the design of which provides, if possi-

ble, the use of modular construction and finishing; It is advisable to conduct research prototyping in the framework of research work in order to obtain objective criteria on the basis of a comparative analysis of design decisions (for residual and block-modular principles of layout).

**Key words:** perspective ships of the Navy, shipbuilding, crew-ship system, ship specialists, living conditions, professional performance, residential area, block-modular principle.

### Введение

В системе «человек-машина» человек является ведущим, управляющим элементом. При создании кораблей и судов (далее кораблей) как и любого другого обитаемого технического объекта или сооружения необходимо соблюдение главного условия: для успешного функционирования объекта должно достигаться тесное единство его конструкций, технических элементов и членов экипажа. При определённых условиях потенциал профессиональной работоспособности специалистов может снижаться и взаимнообразно ухудшать потенциал техники. Так, недооценка «человеческого фактора», в том числе ухудшение условий жизнедеятельности, в системе «человек-машина» приводит к снижению боевой эффективности обитаемых объектов вооружения и военной техники на 20-30 % [1]. Вторит этому утверждению свидетельство о том, что традиционные технократические решения при создании антропотехнических систем не обеспечивают проектную эффективность их функционирования, если не учтены требования по эргономике и обитаемости [2].

С позиций системного подхода корабль следует рассматривать как систему «экипаж-корабль», относя ее к разряду сложных систем, т.е. состоящих из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих элементов для выполнения сложной функции [19]. В отношении корабля системообразующим фактором выступают поставленные перед ним задачи. Основными критериями функционирования корабля являются боеспособность и боеготовность. Они, в свою очередь, складываются из таких характеристик, как надежность системы, устойчивость ее функционирования, качество управления элементами и системой в целом. Эти функциональные показатели системы имеют свои параметры, которые и закладываются в требования к кораблю.

При определении данных параметров необходимо учитывать влияние «случайных факторов»: внешних (поражающие факторы оружия противника, помехи, гидрометеорологические условия и др.) и внутренних (изменение качества управления, нарушение связей между элементами, выход из строя или нарушение функций элементов и др.). Итогом действия «случайных факторов» могут стать возникновение экстремальных (аварийных) ситуаций, срыв кораблем задач, гибель корабля.

Важнейшим условием обеспечения боеспособности корабля как сложной системы является её самоорганизация, когда процессы последовательного изменения свойств системы приводят к тому, что воздействия «случайных факторов» попадают в допустимые пределы [20]. Это условие закладывается в требования на создаваемый корабль, однако следует подчеркнуть и возрастающую роль человека в

системе «экипаж-корабль» в связи с требованиями, предъявляемыми к свойствам перспективных кораблей:

- усложнение и расширение состава боевых задач для перспективных кораблей;
- относительная минимизация водоизмещения и стоимости создания корабля;
- увеличение энерговооруженности и усложнение боевых и технических средств;
- широкое применение новых технологий, видов энергий, синтетических материалов, средств автоматизации и компьютеризации;
- автоматизация и интеллектуализация процессов управления кораблём и БиТС, приводящие к усложнению деятельности и необходимости повышения компетентности корабельных специалистов;
- необходимость увеличения продолжительности службы корабельных специалистов в плавсоставе в условиях существенного ограничения возможности профессионального отбора кадрового состава;
- отсутствие или остаточное представительство отечественного производства ТСОО, бытового и медицинского оборудования.

Однако до настоящего времени в практике военного кораблестроения сохраняется принцип формирования жилой зоны кораблей по остаточному принципу в объемах корпуса корабля, оставшихся незанятыми под главную энергетическую установку (ГЭУ), боевые и технические средства (БиТС). Подобное положение было отмечено адмиралом С.О.Макаровым ещё в 1900 году при проверке размещения личного состава на крейсере «Громобой» [3]. Остаточный принцип распределения объемов корпуса корабля в интересах размещения экипажа и в настоящее время не позволяет рационально организовать пространство жилой зоны кораблей по функциональному назначению, проводить эффективные мероприятия по обеспечению полноценного отдыха и реабилитации корабельных специалистов [6,13,23].

Актуальность работы определяется тем, что важным фактором сохранения высокой боеспособности корабельных специалистов в плавании и на всём протяжении их службы в плавсоставе является совершенствование условий их жизнедеятельности в системе «экипаж-корабль».

**Цель работы** – обоснование путей совершенствования формирования жилой зоны перспективных кораблей и судов Военно-Морского Флота на основе сравнительного анализа обитаемости надводных кораблей отечественной и зарубежной постройки.

### Результаты исследования

Практически до середины XX века не существовало научно обоснованной системы взглядов на формирование обитаемости кораблей с учетом всех



ее факторов и с позиции оптимизации этого элемента в системе «экипаж-корабль». Традиционно в основе подхода к размещению личного состава лежит необходимость обеспечения условий работы и отдыха специалистов. При формировании помещений учитывались антропометрические показатели и необходимость обеспечения «воздушного куба», т.е. объема воздуха в помещении для поддержания должного газового состава.

На кораблях постройки 20-40-х годов площадь палубы на одного человека составляла в жилых помещениях от 1 до 3 квадратных метров, а в качестве минимальной величины. Научно-исследовательским морским медицинским институтом ВМС СССР в середине 40-х годов была рекомендована площадь 3,57 кв.м на одну нижнюю койку при 2-ярусном их расположении и при условии «...рационального устройства и размещения предметов бытового оборудования и мощного развития искусственной вентиляции» [3].

В отечественном кораблестроении с конца 60-х годов в организации размещения членов экипажа обозначился прогрессивный путь: появилось требование о разделении на подводных лодках рабочих и жилой зон, а в дальнейшем и расположении жилых помещений в одном отсеке с обеспечением соответствующей защиты от вредных факторов.

При этом архитектура жилой зоны характеризуется существенными недостатками, отрицательно влияющими на деятельность членов экипажа. Так, при компоновке помещений жилой зоны по остаточному принципу образуется сложная сеть переходов и магистралей. Кроме того, для указанных помещений выполнение гигиенических регламентов диктует проведение объемных и затратных конструктивных защитных мероприятий с целью уменьшения неблагоприятного действия различных факторов (шума, вибрации, ЭМИ, вредных химических примесей и др.), особенно при расположении жилых помещений в оконечностях корабля или смежно с ГЭУ и БиТС.

В условиях значительной рассредоточенности помещений жилой зоны в корпусе корабля резко возрастает объем изолирующих материалов, масс и габаритов конструктивных элементов, материальных затрат, а также трудоемкость в части установки элементов конструктивной защиты и оборудования. Через помещения жилой зоны запрещено прокладывать фановые магистрали, фидерные тракты, шахты газоходов, что дополнительно приводит к усложнению конструктивных решений. Зачастую сама конфигурация указанных помещений такова, что не позволяет рационально использовать их объемы для установки оборудования и приводит к образованию многочисленных застойных зон. При таких традиционно сложившихся условиях размещения членов экипажа становится практически невозможным стандартизировать создание образцов корабельной мебели и бытового оборудования, проводить в жизнь решения о модульной обстройке обитаемых помещений.

Остаточный принцип формирования жилой зоны корабля в объемах его корпуса приводит к следующему:

- рассредоточению жилых помещений по горизонтали и вертикали корпуса корабля, включая носовую и кормовую оконечности, а также нижние палубы вплоть до второго дна;
- размещению мест отдыха специалистов вблизи источников вредных факторов;
- увеличению времени прибытия специалистов в служебные помещения;
- образованию дефицита площадей, запасных спальных и посадочных мест, связанного со сложной конфигурацией жилых и общественных помещений;
- применению большого объема отделочных и изолирующих (от шума, вибрации, перепадов температуры и т.д.) полимерных материалов, являющихся источниками вредных химических примесей;
- усложнению распределения и увеличению протяженности коммуникационных сетей.

Все вышеуказанные недостатки способствуют появлению в помещениях совокупности неблагоприятных факторов, превышающих по величине гигиенические регламенты, а также к разобщению мест отдыха и рабочих мест [2,6,13,23]. Положение усугубляется тем, что существующие технические средства обеспечения обитаемости (ТСОО) громоздки, материалоемки и малопроизводительны, а падение эффективности их работы во многом связано именно с нерациональным распределением помещений жилой зоны, прежде всего с увеличением протяженности и усложнением сети магистралей.

Ведущей причиной сложившегося положения является отсутствие системного подхода к конструктивному решению проблемы. Кроме того не разработаны принципы оптимизации связей между подсистемами и их элементами, не решены вопросы прогнозирования функции подсистем в интересах функционирования «человеческого фактора» для решения задач, стоящих перед кораблем [6,23].

В связи с этим необходим кардинальный поворот от традиционного экстенсивного, технократического конструирования на основе учета нормативных величин и накопления вариантов защитных мероприятий к интенсивному, человекоориентированному подходу в части совершенствования обитаемости путем принятия оптимизирующих конструктивных решений.

В связи с возрастанием роли «человеческого фактора» в сложных антропотехнических системах [8 - 11], к которым относится самая сложная система – «экипаж-корабль», решение проблемы сохранения высокого уровня здоровья и боеспособности специалистов в плавании, а также на протяжении всего периода службы в плавсоставе невозможно при сохранении устаревшего технократического подхода к формированию условий жизнедеятельности. Кроме того возрастает необходимость развития средств защиты специалистов от действия неблагоприятных факторов. Остро встает вопрос и об организации внутрисудовой реабилитации, активного поддержания профессиональной работоспособности членов экипажа при длительной,

напряженной службе в период автономных походов [6,13,16], что непременно скажется на составе и специфике оборудования помещений жилой зоны.

На перспективных кораблях малого водоизмещения проблема создания оптимальной обитаемости может решаться на основе учета приемлемых рисков [4 - 7], в частности путем организации постоянного размещения экипажа на береговой базе. Для кораблей океанской зоны плавания такое решение считается неприемлемым. Их обитаемость призвана обеспечить сохранение высокой профессиональной работоспособности личного состава непосредственно на борту в условиях практически постоянного пребывания экипажа на корабле в длительном плавании, либо в условиях рейдового базирования.

Необходимо иметь в виду, что, по мере развития кораблестроения, функция управления все в большей степени передается АСУ, однако основным интеллектуально-волевым и исполнительным звеном системы «человек – машина» остаётся человек-оператор. Оптимальные условия жизнедеятельности служат рычагом для привлечения специалистов к службе на корабле. Развитие БиТС перспективных кораблей приводит к необходимости подбора в плавсостав высококвалифицированных кадров, а состояние боеготовности корабля все в большей степени определяется морально-психологическими и интеллектуальными качествами личности воина [12].

Чем выше квалификация, культурный и правовой уровень специалиста, тем значительнее его запросы в отношении условий труда, отдыха, охраны здоровья, организации службы [13].

Реформа вооруженных сил в государствах НАТО в 50 – 70-х годах прошлого столетия привела к созданию профессиональных армий и флотов, комплектуемых на основе контрактных отношений [14]. Это повлекло за собой необходимость коренного улучшения условий жизнедеятельности для военнослужащих. В соответствии с этим уже в 50-х годах в США было признано считать обитаемость одним из важнейших тактико-технических элементов кораблей [16]. Руководство ВМС США разработало и осуществило программу развития корабельной обитаемости, на реализацию которой с 1954 по 1958 годы ушло 13,8% общего бюджета ВМС США [11].

В западном кораблестроении появились требования о запрещении размещения помещений жилой зоны в оконечностях корабля, смежно с источниками шума и вибрации. Были разработаны требования по эргономике и дизайну, а в состав бытовых зон включены библиотеки и помещения для отдыха [23,25,26].

В последующие десятилетия произошел отказ от многоместных кубриков и разделение помещений жилой зоны на 3 функциональных объема: спальное помещение, гардеробную и помещение для занятий [21 - 26]. Этим достигались одновременно и достаточный уровень общения членов команды и необходимое уединение. Большое внимание было уделено механизации и автоматизации трудовых процессов личного состава. Это позволило сократить численность экипажа, например, на ЭМ

«Спруенс» на 27,5% по сравнению с базовым вариантом, а на десантном вертолетоносце «Тарава» этот же механизм уменьшил количество персонала продовольственной службы с 73 до 17 человек [17,18].

В странах НАТО с 70-х годов прошлого столетия компоновка жилых помещений на кораблях претерпела значительные конструктивные изменения. Так, на ЭМ «Спруенс» (США) «жилые помещения и столовые расположены в средней части корабля для снижения влияния на личный состав килевой качки. Группировка их в едином блоке обеспечивает удобство размещения и экономию объемов» [17].

Опыт проектирования и строительства кораблей в странах НАТО привел к «переносу блока жилых помещений из оконечностей в среднюю часть и из корпуса в надстройку» [21]. Жилой объем кубриков разделен на спальные помещения (купе-спальная и гардеробная), а также помещения для занятий (отдыха) и санитарные блоки (умывальная, душ, прачечная, галльон) из расчета на несколько групп спальных помещений. Как правило, в 1 купе располагается 6 коек в 3 яруса при высоте помещения «в свету», в среднем 2,4 м. Каждая койка оборудуется рундуком для личных вещей, воздухораспределителем от кондиционера, светильником, шторами и радиотрансляцией.

На кораблях ВМС США удельная площадь жилых помещений (при условии постоянного размещения личного состава на корабле и в зависимости от класса корабля) колеблется от 2,15 до 2,35 кв. м. Отмечено, что размещение унтер-офицеров на кораблях ВМС США по условиям тяготеет к размещению старшин и матросов, а в странах Западной Европы – для офицерского состава [22 - 27]. Офицерский состав на кораблях ведущих морских держав размещается в 1-2-местных каютах удельной площади 6-7 кв.м [23,25,26].

Характерной чертой зарубежного кораблестроения является то, что общественная роль столовых перенесена в помещения для занятий и отдыха жилой зоны, а сами они используются только для приема пищи по принципу самообслуживания, с существенным сокращением их общей площади в пользу помещений для занятий. Число посадочных мест согласуется с темпом работы линии раздачи пищи, что позволило резко сократить количество посадочных мест до 11,5% от общей численности матросов и старшин, а также удельную площадь помещений до 0,5 – 0,6 кв.м/чел.

В последнее 30-летие в зарубежном кораблестроении существенное развитие приобрела идея борьбы с гипокинезией: в составе общественных помещений кораблей океанской зоны появились спортивные залы, стационарные или забортные бассейны, а на НК малого водоизмещения – спортивные каюты и спортивные площадки на верхней палубе.

Имеются сообщения о том, что блочно-модульная компоновка помещений жилой зоны реализуется в ходе создания современных кораблей ВМС зарубежных государств [21 - 24]. Так, на корве-

те Германских ВМС «Брауншвейг», проекта К-130 применена модульная технология постройки МЕКО (как и при строительстве фрегатов F-123 и F-124) [24]. На этом корабле большое внимание уделено обеспечению высокого уровня комфортности в 6-местных (рядовой состав), 4-местных (унтер-офицеры) и 2-местных (офицеры) каютах. В каждой каюте предусмотрен свой туалет.

Внедрена инновационная система проходов по кораблю для обеспечения максимальной доступности средств управления кораблем и его оружием. Отмечается, что объемы помещений и расположение оборудования соответствуют действующим эргономическим стандартам и позволяют многофункциональное использование помещений за счет перемещения элементов переборок.

Отмечается и независимость от внешних климатических условий, что обеспечивается современными технологиями путём оборудования помещений двумя системами вентиляции и кондиционирования воздуха. Для камбуза и лазарета эти системы автономны.

Следовательно, несомненным является существенное повышение комфортности помещений жилой зоны кораблей ведущих морских держав с целью привлечения на службу в плавсоставе специалистов и обеспечения им высокого социального статуса.

Следует отметить, что главным направлением оптимизации обитаемости кораблей зарубежной постройки в 60-70-х годах прошлого столетия стало конструкторское решение об объединении помещений жилой зоны в единый жилой блок (блоки) центрального расположения [17]. Это позволило:

- разделить рабочую и жилую зоны, рационально распределить площади и объемы последней (сократить дополнительные объемы, ликвидировать застойные зоны, необходимость проведения через помещения различного рода магистралей и т.д.);
- рационализировать систему коммуникаций, уменьшить массу и габариты конструкционной защиты, избежать смежного расположения с источниками вредных факторов;
- применить модульные решения по обстройке и оборудованию помещений;
- снизить энергозатраты при работе ТСОО.

Были ликвидированы следующие конструкторские недостатки традиционной компоновки жилых помещений по остаточному принципу:

- площадь поверхности всех помещений единого жилого блока, объем и масса средств изоляции, демпфирования и т.д. оказывается значительно меньше, чем такие же элементы разобоченной жилой зоны;
- сложность, протяженность, габариты и масса материала систем коммуникационных связей между помещениями единой зоны также значительно уменьшаются по сравнению с характеристиками тех же связей между рассредоточенными в корпусе корабля помещениями;
- значительно снижается и сложность управления техническими элементами при использовании системы коммуникационных связей, а их

протяженность уменьшает расход энергии и повышает ресурсы ТСОО;

- в едином блоке проще проводить унифицированные решения по функциональному членению пространства (модульность конструкций, предметов мебели, оборудования, ограждений) по сравнению с разрозненными элементами, конфигурация которых зависит от архитектуры смежных объемов.

Вышеизложенное приводит к мысли о том, что, с позиции системного подхода, совершенствование условий жизнедеятельности экипажей современных кораблей невозможно без решения двух задач:

1. При функциональном распределении пространства корпуса корабля объемы, предназначенные для размещения личного состава, должны занимать в принимаемых конструктивных решениях равный иерархический уровень наряду с таковыми для размещения ГЭУ и БИТС.

2. Компоновку помещений жилой зоны целесообразно осуществлять в жилые блоки (по возможности модульной конструкции).

Именно поэтому организация жилой зоны в едином блоке (а на кораблях большого водоизмещения в двух и более блоках) позволит конструктивно решить многие общесистемные вопросы. Это приведёт к рационализации использования автоматизированного исследовательского проектирования жилой зоны корабля, что не удастся сделать при организации размещения экипажа на основе остаточного принципа.

Для решения этих задач целесообразно проведение исследовательского макетирования в рамках научно-исследовательской работы с целью получения объективных критериев на основе сравнительного анализа конструкторских решений (по остаточному и блочно-модульному принципам компоновки). По результатам исследования потребуются разработка медико-технических требований к составу, размещению и оборудованию жилых блоков.

Помимо оптимизации архитектоники корабля в интересах рационального размещения экипажа важным качеством, оказывающим влияние на обитаемость, выступают зависимость уровня комфортности от коэффициентов оперативного использования и оперативного напряжения (КОИ и КОН) корабля, от его водоизмещения, численности экипажа и других характеристик, что определено медико-техническими требованиями к обитаемости кораблей.

Таким образом, общим ведущим недостатком размещения членов экипажей кораблей и судов ВМФ является остаточный принцип распределения объемов корпуса корабля для формирования условий жизнедеятельности корабельных специалистов.

В результате такого подхода помещения жилой зоны (жилые, общественные, медицинские, продовольственные и санитарно-бытовые) распределяются в объеме корпуса корабля по остаточному принципу, оказываясь в оконечностях корабля, ниже ватерлинии, смежно с источниками неблагоприятных факторов, рассредоточены по всей длине кор-

пуса, имеют сложную конфигурацию, нерационально протяжённые связи между собой и другими помещениями корабля. Все это затрудняет передвижение личного состава к местам несения вахт, прибытие по тревоге на посты.

Для организации жизнеобеспечения и защиты личного состава от воздействия неблагоприятных факторов становится необходимым подведение к помещениям сложной сети разного рода коммуникаций, а также применение большого объема материалов для конструкционной защиты.

Порочный круг замыкается решениями об установке мощных, высокоресурсных ТСОО, которые, в свою очередь, являются источниками вредных факторов (шума, вибрации, высокой температуры, вредных химических примесей, ЭМИ и др.). Увеличиваются масса и габариты конструкций корабля, расход электроэнергии, стоимость создания и эксплуатации кораблей, ухудшается качество жизни личного состава, появляется необходимость в дополнительном увеличении комплектации экипажа специалистами – появляется второй виток порочного круга.

Не только квалификация, но также культурно-правовой уровень и социальные запросы корабельных специалистов повышаются, что требует существенного улучшения условий жизнедеятельности на современных и перспективных кораблях.

Результаты сравнительного анализа решений по распределению объемов корпуса для формировании жилой зоны на зарубежных и отечественных кораблях показывают, что архитектоника корабля, компоновка помещений жилой зоны современных надводных кораблей зарубежной постройки прошла прогрессивный путь развития и оптимизирующих решений. С их внедрением на современных кораблях «западной» постройки получена возможность применения модульного принципа создания помещений, экономии их объемов, масс, габаритов, конструкционных материалов, а также мощности, габаритов и ресурсов ТСОО.

Наряду с разработкой и поставкой эффективных ТСОО помещения жилой зоны кораблей «западной» постройки стали более комфортабельными при общем уменьшении объемов корпуса корабля в части обитаемости.

Следовательно, на основании приведенных данных можно предварительно сформулировать требования к компоновке помещений жилой зоны перспективных отечественных кораблей:

1. При функциональном распределении пространства корпуса корабля объемы, предназначенные для размещения личного состава, должны занимать в принимаемых конструкционных решениях равный иерархический уровень наряду с таковыми для размещения ГЭУ и БИТС.

2. Расположение помещений жилой зоны корабля должно учитывать рациональное передвижение личного состава к местам несения вахты в соответствии с расписанием, а также минимизацию протяженности коммуникационных сетей.

3. Жилые, общественные, продовольственные, медицинские и санитарно-бытовые помещения должны быть скомпонованы в жилые блоки, конструкция которых обеспечивает, по возможности, применение модульной обстройки и отделки.

4. Необходимо разработать программу создания высокоэффективных технических средств обеспечения обитаемости и медицинского оборудования.

5. Целесообразно проведение исследовательского макетирования в рамках научно-исследовательской работы с целью получения объективных критериев на основе сравнительного анализа конструкторских решений (по остаточному и блочно-модульному принципам компоновки).

#### Выводы

1. Остаточный принцип распределения объемов корпуса корабля для размещения экипажа не позволяет рационально распределить пространство жилой зоны по функциональному назначению, проводить эффективные мероприятия по организации полноценного отдыха и реабилитации корабельных специалистов.

2. В связи с повышением роли «человеческого фактора» в обеспечении боеготовности и боеспособности перспективных кораблей необходимо совершенствование условий жизнедеятельности на основе системного подхода к формированию помещений жилой зоны.

3. С учетом опыта ведущих морских держав по созданию и эксплуатации кораблей в условиях модернизации отечественных Вооруженных Сил целесообразно провести научно-исследовательскую работу по обоснованию медико-технических требований к обитаемости перспективных кораблей и судов.

#### Литература

1. Довгуша В.В., Кудрин И.Д., Тихонов М.Н. Введение в военную экологию. М.: МО РФ. -1995.
2. Тихонов М.Н., Кудрин И.Д., Довгуша В.В. Синтез оптимальных антропометрических систем / Матер. конф., посвящ. 125-летию кафедры общей и военной гигиены. СПб.: Воен.-мед. акад. – 1996. С. 252-254.
3. Морев В.А. Справочные материалы по санитарно-гигиеническому обеспечению на кораблях и в береговых частях Военно-Морского Флота. Л.: Воен.-мор.мед. акад. -1945.
4. Измеров Н.Ф., Денисов Э.И., Молодкина Н.Н., Радионова Г.К. Методология оценки профессионального риска в медицине труда // Медицина труда и промышленная экология. -2001. № 12. С. 1-7.

5. Черниченко И.А., Сердюк А.М., Литвиченко О.Н., Баленко Н.В. Гигиеническое регламентирование и риск // Гигиена и санитария. -2006.№ 1.- С. 30-32.
6. Мосягин И.Г., Воронов В.В. Возможные пути решения проблем обитаемости кораблей и судов ВМФ // Морская медицина. -2017.№ 1.-С. 55-66.
7. Яньшин Л. А. Гигиенические аспекты обеспечения безопасности военной службы // Военно-медицинский журнал. - 2006.№ 1.-С.47-54.
8. Физиологические механизмы оптимизации деятельности\ Под ред. проф. В.И.Медведева. Л.: Наука.- 1985.
9. Человеческий фактор //Под ред. Г. Салвенди. Перевод с англ. М.: Мир.- 1991.
10. Heffron M. The naval ship and urban design problem // Naval engineers journal.-1973.N. 3.V. 85.-P.49-65.
11. Weiler D.,Costle G. The need an open systems approach to naval ship habitability design // Soc. of naval architects and marine entransactions.-1972.V.80.-P. 208-237.
12. Жильев Е.Г., Володин А.С. О методологии оценки боеспособности военнослужащих / Матер. конф., посвящ. 125-летию кафедры общей и военной гигиены. СПб.: Воен.-мед. акад.-1996.-С.89-90.
13. Алфимов Н.Н. Социальные аспекты военно-морской гигиены. Л.: Воен.-мед. акад.-1976.
14. Барынькин В.М. Проблемы строительства Вооруженных Сил РФ на современном этапе // Военная мысль.-1996.№ 1.-С.4-5.
15. Иванов Г.Ф. Некоторые аспекты перехода вооруженных сил США на добровольный принцип комплектования // Военная мысль.-1991.№ 1.-С.69-75.
16. Турмов Г., Павлюченко Ю. Обитаемость корабля // Морской сборник.-1984.№ 8. С. 68-70.
17. Рудас С.А., Желоманов А.Т. Проектирование и строительство ЭМ «Спрюенс» - новый подход к созданию боевых кораблей ВМС США // Судостроение за рубежом.-1980. № 4.-С.61-111.
18. Васильев А.М. Универсальные десантные корабли ВМС США типа «Тарава» // Судостроение за рубежом. -1975. № 6.-С. 3-14.
19. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. М.-1973.-440 с.
20. Ляпунов А.А., Яблонский С.В. Теоретические проблемы кибернетики / В сб.: Проблемы кибернетики. М.-1963.
21. Маров Б.Г. Особенности проектирования и постройки фрегатов типа «Оливер Перри» ВМС США // Судостроение за рубежом.-1983. № 2.-С.3-30.
22. Рожин К.Ю.,Левочкин А.К., Шилкин А.А. Современные концепции развития боевых надводных кораблей зарубежных ВМС (аналитический обзор). СПб.: 1 ЦНИИ МО РФ. Вып. 16.-1998.-25 с.
23. Плахов Н.Н. Совершенствование обитаемости надводных кораблей в зарубежном и отечественном кораблестроении (аналитический обзор).СПб.: 1 ЦНИИ МО РФ. Вып. 10.-1998.- 21 с.
24. K-130 "Braunschweig"-class corvette of the German Navy\ Naval Forces.-2008. Vol. 29.N. 4-Pp. 88-95.
25. Требования к жилым помещениям надводных кораблей и подводных лодок Ее Величества. Министерство обороны Великобритании. Военный стандарт 02 – 107. Издание 2.-2002.-75 с.
26. Руководство по проектированию судов. Критерии размещения личного состава (Т 9640 – АВ – ДДТ – 010\НАВ). США: Начальник управления Военно-морских систем.-1995.
27. Архипов А.В., Рыбников Н.И. Десантные корабли военных флотов мира. История, современное состояние и возможные направления развития: Монография.- СПб.: Галера Принт, 2015.- 280 с.

## References

- .1 1. Dovgusha V.V., Kudrin I.D., Tihonov M.N. Vvedenie v voennuju jekologiju. M.: MO RF. -1995.
- .2 2. Tihonov M.N., Kudrin I.D., Dovgusha V.V. Sintez optimal'nyh antropometricheskikh sistem / Mater.konf., posvjashh. 125-letiju kafedry obshhej i voennoj gigieny. SPb.: Voen.-med. akad. – 1996. S. 252-254.
- .3 3. Morev V.A. Spravochnye materialy po sanitirno-gigienicheskomu obespecheniju na korabljah i v beregovykh chastjah Voenno-Morskogo Flota. L.: Voen.-mor.medic. akad. -1945.
- .4 4. Izmerov N.F., Denisov Je.I., Molodkina N.N., Radionova G.K. Metodologija ocenki professional'nogo riska v medicine truda // Medicina truda i promyshlennaja jekologija. -2001.№ 12.S.1-7.
- .5 5. Chernichenko I.A., Serdjuk A.M., Litvichenko O.N., Balenko N.V. Gigienicheskoe reglamentirovanie i risk // Gigiena i sanitarija. -2006.№ 1.- S. 30-32.
- .6 6. Mosjagin I.G., Voronov V.V. Vozmozhnye puti reshenija problem obitaemosti korablej i sudov VMF // Morskaja medicina. -2017.№ 1.-S. 55-66.
- .7 7. Jan'shin L. A. Gigienicheskie aspekty obespechenija bezopasnosti voennoj sluzhby // Voенno-medicinskij zhurnal. - 2006.№ 1.-S.47-54.
- .8 8. Fiziologicheskie mehanizmy optimizacii dejatel'nosti\ Pod red. prof. V.I.Medvedeva. L.: Nauka.-1985.
- .9 9. Chelovecheskij faktor //Pod red. G. Salvendi. Pervod s angl. M.: Mir.- 1991.
- .10 10. Heffron M. The naval ship and urban design problem // Naval engineers journal.-1973.N. 3.V. 85.-P.49-65.
- .11 11. Weiler D.,Costle G. The need an open systems approach to naval ship habitability design // Soc. of naval architects and marine entransactions.-1972.V.80.-P. 208-237.
- .12 12. Zhiljaev E.G., Volodin A.S. O metodologii ocenki boesposobnosti voennosluzhashhih / Mater. konf., posvjashh. 125-letiju kafedry obshhej i voennoj gigieny. SPb.: Voen.-med. akad.-1996.-S.89-90.
- .13 13. Alfimov N.N. Social'nye aspekty voенno-morskoj gigieny. L.: Voen.-med. akad.-1976.
- .14 14. Baryn'kin V.M. Problemy stroitel'stva Vooruzhennyh Sil RF na sovremennom jetape // Voennaja mysl'.-1996.№ 1.-S.4-5.
- .15 15. Ivanov G.F. Nekotorye aspekty perehoda vooruzhennyh sil SShA na dobrovol'nyj princip komplektovanija // Voennaja mysl'.-1991.№ 1.-S.69-75.
- .16 16. Turmov G., Pavljuchenko Ju. Obitaemost' korablja // Morskoj sbornik.-1984.№ 8. S. 68-70.
- .17 17. Rudas S.A., Dzhelomanov A.T. Proektirovanie i stroitel'stvo JeM «Sprjuens» - novyj podhod k sozdaniju boevykh korablej VMS SShA // Sudostroenie za rubezhom.-1980. № 4.-S.61-111.
- .18 18. Vasil'ev A.M. Universal'nye desantnye korabli VMS SShA tipa «Tarava» // Sudostroenie za rubezhom. - 1975. № 6.-S. 3-14.
- .19 19. Buslenko N.P., Kalashnikov V.V., Kovalenko I.N. Lekcii po teorii slozhnyh sistem. M.-1973.-440 s.
- .20 20. Ljapunov A.A., Jablonskij S.V. Teoreticheskie problemy kibernetiki / V sb.: Problemy kibernetiki. M.-1963.
- .21 21. Marov B.G. Osobennosti proektirovanija i postrojki fregatov tipa «Oliver Perri» VMS SShA // Sudostroenie za rubezhom.-1983. № 2.-S.3-30.
- .22 22. Rozhin K.Ju.,Levoshkin A.K., Shilkin A.A. Sovremennye koncepcii razvitija boevykh nadvodnyh korablej za-rubezhnyh VMS (analiticheskij obzor). SPb.: 1 CNII MO RF. Vyp. 16.-1998.-25 s.
- .23 23. Plahov N.N. Sovershenstvovanie obitaemosti nadvodnyh korablej v zarubezhnom i otechestvennom korablestroenii (analiticheskij obzor).SPb.: 1 CNII MO RF. Vyp. 10.-1998.- 21 s.
- .24 24. K-130 "Braunschweig"-class corvette of the German Navy\ Naval Forces.-2008. Vol. 29.N. 4-Pp. 88-95.
- .25 25. Trebovanija k zhilym pomeshhenijam nadvodnyh korablej i podvodnyh lodok Ee Velichestva. Ministerstvo oborony Velikobritanii. Voennyj standart 02 – 107. Izdanie 2.-2002.-75 s.
- .26 26. Rukovodstvo po proektirovaniju sudov. Kriterii razmeshhenija lichnogo sostava (T 9640 – AV – DDT – 010\NAV). SShA: Nachal'nik upravlenija Voенno-morskih sistem.-1995.
- .27 27. Arhipov A.V., Rybnikov N.I. Desantnye korabli voennyh flotov mira. Istorija, sovremennoe sostojanie i vozmozhnye napravlenija razvitija: Monografija.- SPb.: Galeja Print, 2015.- 280 s.

## **ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

УДК 621.646+532.595

### **МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДОВОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ**

**Куличкова Елена Асановна**

Заместитель главного конструктора-начальник конструкторского отдела

Центра технологии судостроения и судоремонта  
198095, Санкт-Петербург, ул. Промышленная, 7  
тел. (812) 339-06-57 e-mail: [elenakulichkova@mail.ru](mailto:elenakulichkova@mail.ru)

#### **Аннотация**

Одной из основных проблем при эксплуатации трубопроводных систем являются повышенные уровни шума и вибрации, оказывающие негативное влияние на условия труда и здоровье персонала, надежность и долговечность технологического оборудования, на общий уровень шумовой загрязненности окружающей среды.

В статье представлен метод проектирования судовой трубопроводной арматуры со сниженными уровнями импульсной вибрации, основанный на теоретических и экспериментальных исследованиях. Рассмотрен процесс формирования динамической силы, действующий на запорный элемент арматуры. Определена возможность выбора режима работы, обеспечивающего минимальную вибрационную активность трубопроводной арматуры. Приведен алгоритм проектирования. Предложена новая конструкция запорного элемента крана шарового. Приведены результаты экспериментального исследования импульсной вибрации.

Показана возможность снижения уровней вибрации при работе трубопроводной арматуры на нестационарных режимах для обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводных систем, уменьшению шумовой загрязненности окружающей среды и улучшению условий труда обслуживающего персонала. Реализован общий метод оценки вибрации арматуры при ее срабатывании. Результаты работы могут быть использованы при разработке новых конструкций трубопроводной арматуры.

**Ключевые слова** Вибрация, шум, трубопроводная арматура, шаровой кран, нестационарный режим, коэффициент гидравлического сопротивления, динамическая сила, трубопровод.

### **METHOD OF DESIGN OF MARINE PIPELINE FITTINGS**

**Kulichkova Elena Asanovna**

the deputy chief designer of Shipbuilding & Shiprepair Technology Center

Promyshlennaya, 7, St. Petersburg 198095, Russian Federation

tel: +7 (812) 339-06-57 e-mail: [elenakulichkova@mail.ru](mailto:elenakulichkova@mail.ru)

#### **Abstract**

A primary consideration during operation of piping systems is noise and vibration, which adversely affects labor conditions and personnel health, equipment life evaluation and reliability, environmental noise.

The paper suggests design approach of marine valves with reducing vibration. Both theoretical and experimental techniques is used here to study the effects of closing valve on vibration levels. The process formation of the dynamic force operating from a flow on closure member of valve is examined. The choice of options providing the minimum vibration of the valves is determined. The algorithm of design is considered. The new design of ball valve is represented. The result of an experimental research of vibration is considered.

The possibility of reducing vibration of valves under transient conditions for save operation of piping systems, reduce sound emission and improve working conditions are shown. A general method for the

estimation of valve vibration for piping systems is developed and implemented. Results of researches can be used to develop new designs valves.

**Key words** Vibration, noise, valve, ball valve, transient conditions, hydraulic resistance coefficient, fluid force, pipeline.

**Введение**

Одной из основных проблем при эксплуатации трубопроводных систем являются повышенные уровни шума и вибрации, оказывающие негативное влияние на условия труда и здоровье персонала, надежность и долговечность технологического оборудования, на общий уровень шумовой загрязненности окружающей среды. Особое значение снижения шумности оборудования приобретает на судах. Поэтому в судостроительной отрасли контроль виброшумовых характеристик является важнейшим этапом создания судового оборудования. В среднем для оснащения корабля требуется от 2 до 11 тысяч единиц различной арматуры, каждая единица которой при работе излучает акустическую энергию, обусловленную распространением колебаний как в твердых телах, так и в рабочей среде. Результатом такого динамического взаимодействия является возникновение вибрации и шума [1]. Таким образом, разработка метода проектирования судовой трубопроводной арматуры (СТПА) со сниженными уровнями импульсной вибрации является актуальной задачей.

**1. Физико-математическая модель**

Для оценки динамической силы, действующей на донно-бортовую арматуру (ДБА) со стороны потока, предлагается следующая модель (рис.1).

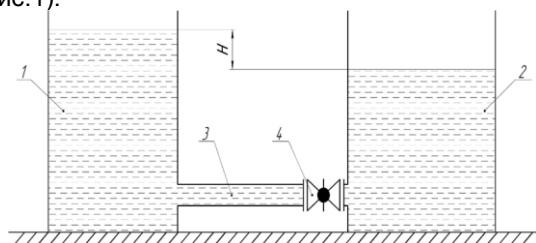


Рис. 1. Схема для оценки динамической силы, действующей на ДБА

Два бесконечно больших объема воды 1 и 2 соединены между собой трубой 3, имеющей сечение площадью S. Уровни воды в этих бесконечных объемах разнесены по высоте на некую величину H. Запорная арматура 4 установлена в конце трубы 3, непосредственно на выходе в бесконечный объем 2. Труба достаточно короткая, движение запорного элемента арматуры 4 достаточно медленное, так что полного гидравлического удара не происходит.

В соответствии со вторым законом Ньютона [2] импульс силы, действующей на запорный элемент при его движении, равен изменению момента количества движения рабочей среды, т. е.:

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta(m \cdot \vec{V}) \tag{1}$$

где  $\Delta(m \cdot \vec{V})$  – изменение момента количества движения жидкости,  $\Delta t$  – изменение времени,  $\vec{V}$  – скорость истечения воды через проходное сечение.

Поскольку труба соединяет бесконечные объемы, то давление на входе участка трубы перед запорной арматурой постоянно, соответственно постоянен и перепад давления между входом и выходом трубы. Поэтому связь между перепадом давления и скоростью истечения воды описывается уравнением Бернулли [3]:

$$V = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho}} \tag{2}$$

где  $\Delta P$  – перепад давления,  $\rho$  – плотность воды.

Поскольку разность давлений на входе и выходе постоянна, то и скорость истечения воды также постоянна. При движении запорного элемента изменяется площадь проходного сечения арматуры и расход, т.е. масса протекающей воды:

$$\Delta m(t) = \Delta[S(t)] \cdot L \cdot \rho \tag{3}$$

где L – длина трубопровода от выхода из первого бесконечного объема до входа в запорную арматуру.

В этом случае величина действующей на запорный элемент динамической силы определяется только временным изменением массы тормозящейся воды:

$$F(t) \cdot \Delta t = \Delta[S(t)] \cdot L \cdot \rho \cdot V \tag{4}$$

Несколько иная картина наблюдается для судовой путевой арматуры, т.е. для арматуры, установленной в конкретной трубопроводной системе, рис.2. Кроме рассматриваемой арматуры 4 в этой системе присутствуют еще другие элементы 5, обладающие соответствующим гидравлическим сопротивлением.

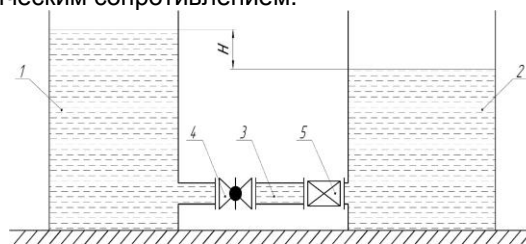


Рис. 2. Схема для оценки динамической силы, действующей на путевую арматуру

При постоянном перепаде давления между входом и выходом трубы связь между скоростью потока и перепадом давления описывается следующим соотношением:

$$V = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho \cdot (\zeta_1 + \zeta_2)}} \tag{5}$$



где  $\zeta_1, \zeta_2$  – коэффициенты сопротивления арматуры 4 и трубопроводной системы, в которой она установлена.

Таким образом, характер действующей на запорный элемент путевой арматуры динамической силы определяется не только конструктивным исполнением собственно путевой арматуры, но и местом установки ее в конкретной трубопроводной системе, а также характеристиками этой системы

## 2. Метод проектирования СТПА

На основании проведенных исследований разработан метод проектирования СТПА, обеспечивающий минимальные уровни импульсной вибрации при ее срабатывании при условии соответствия предъявляемым к арматуре требованиям (виброшумовым, конструктивным, технологическим, функциональным), основанным на действующих нормативных, методических, технических документах судостроительной отрасли. Схема алгоритма проектирования приведена на рис.3.

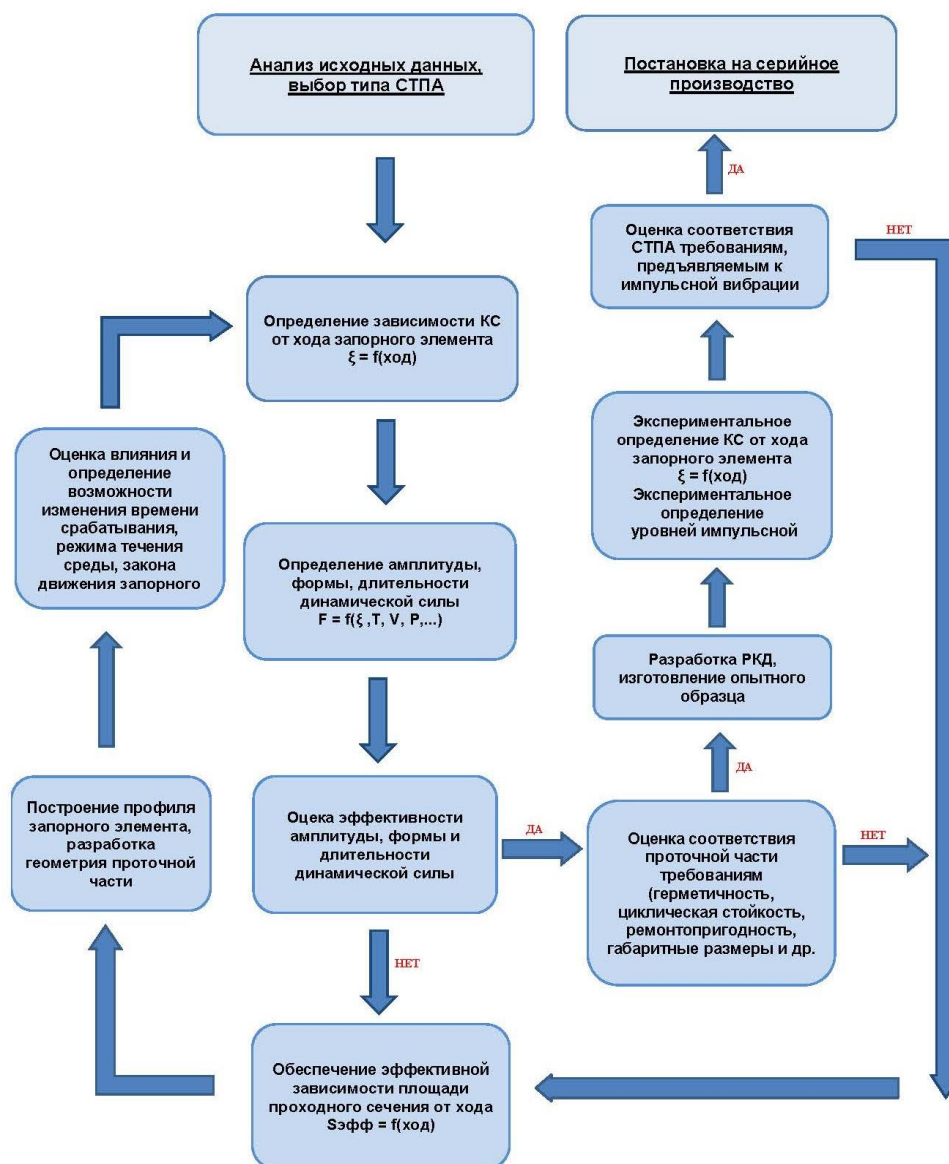


Рис. 3. Схема алгоритма проектирования СТПА

## 3. Реализация метода

В соответствии с предложенным алгоритмом выполнен анализ исходных данных и определен наиболее эффективный тип запорной СТПА для реализации мероприятий, направленных на минимизацию импульсной вибрации – кран шаровой [4]. Результаты оценки эффективности динами-

ческой силы, действующей на запорный элемент крана шарового позволили сделать вывод о том, что для снижения импульсной вибрации целесообразно изменить геометрию его проточной части [5] и, соответственно, КС путем увеличения площади проходного сечения крана при больших углах закрытия (рис.4), увеличив тем самым эффективное время срабатывания, что приведет к

уменьшению амплитуды и изменению формы импульса динамической силы (рис.5).

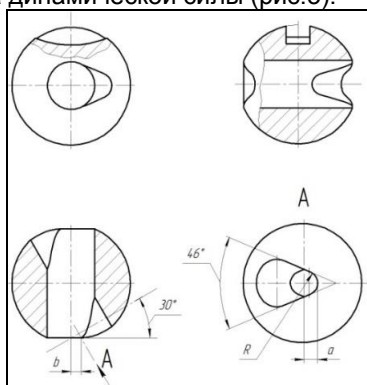


Рис. 5. Сегментные вырезы на запорном элементе крана шарового для увеличения площади проходного сечения

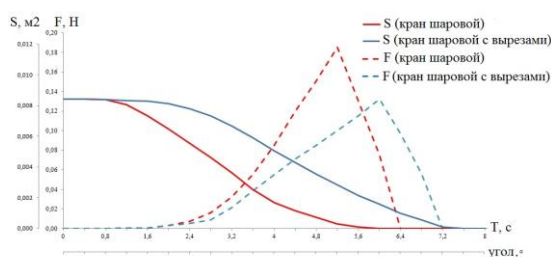


Рис. 6. Площадь проходного сечения  $S$ , динамическая сила  $F$  при закрытии путевой арматуры

Для экспериментального подтверждения полученных теоретических результатов разработана рабочая конструкторская документация и изготовлен опытный образец крана шарового с сегментными вырезами на запорном элементе [6]. Трехмерная модель проточной части крана шарового и внешний вид изготовленного шарового крана представлены на рис.7 и 8 соответственно.

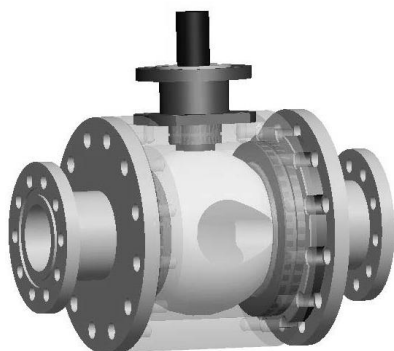


Рис. 7. 3D модель проточной части крана шарового



Рис. 8. Опытный образец крана шарового

Определение уровней импульсной вибрации при срабатывании крана проводилось по методике МКИВС-95А [7]. В качестве вибрационной характеристики принималась кривая, огибающая максимальные значения 1/3 октавных уровней вибрации в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Результаты сравнительных испытаний кранов шаровых с исходной и разработанной проточной частью (в соответствии с предложенным алгоритмом) при скорости 1 м/с представлены на рис.9

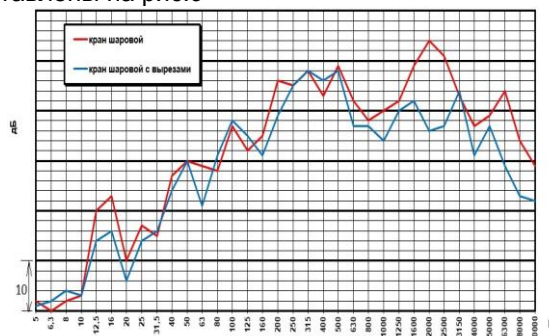


Рис. 9. Уровни импульсной вибрации при закрытии кранов шаровых

Сравнение экспериментальных зависимостей позволяет определить характерные частотные диапазоны, в которых происходит наибольшее снижение уровней вибрации: 12,5-16 Гц (снижение на 4-8 дБ), 1000-2500 Гц (снижение на 4-18 дБ), 400-10000 (снижение на 5-17 дБ).

#### 4. Рекомендации по снижению уровней импульсной вибрации СТПА

Анализ выполненных теоретических и экспериментальных исследований, показал, что для снижения уровней импульсной вибрации в практику проектирования СТПА необходимо внедрение комплекса мероприятий (выбор типа арматуры, привода, геометрии проточной части, а также режимов срабатывания), которые для гарантированного улучшения виброакустических характеристик СТПА, должны основываться на решении задач глобальной оптимизации виброакустических характеристик трубопроводных систем в целом [8].

**Заключение**

Разработанные в соответствии с предложенным методом проектирования СТПА технические решения, основанные на результатах теоретических и экспериментальных исследований, позволяют:

- снизить общий уровень шумовой загрязненности окружающей среды;
- повысить надежность и долговечность технологического оборудования;
- уменьшить негативное влияние на условия труда и здоровье персонала;

– улучшить акустическую скрытность кораблей ВМФ;

– расширить научные основы при исследовании гидродинамических и виброакустических процессов на нестационарных режимах работы СТПА;

– сформировать теоретическую базу для разработки малошумной СТПА;

– использовать научно обоснованный подход, позволяющий сократить время испытаний и количество образцов, необходимых для их проведения.

**Литература**

1. P. Moussou, Ph. Lafon, S. Potapov, L. Paulhiac, A.S. Tijsselling. Industrial cases of FSI due to internal flows, Technical University of Eindhoven, Department of Mathematics and Computer Science, Eindhoven, Reports on applied and numerical analysis 0404, 2004.
2. Кингсеп А. С., Локшин Г. Р., Ольхов О. А. Основы физики. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. Т.1. 560 с.
3. R. P. King. Introduction to practical fluid flow. Butterworth-Heinemann. 2002. 198 p.
4. Moujaes S. F., Jagan R. 3D CFD Predictions and Experimental Comparisons of Pressure Drop in a Ball Valve at Different Partial Openings in Turbulent Flow. Journal of Energy Engineering. 2008. Vol. 134. № 1. pp. 24-28.
5. Куличкова Е. А. Снижение импульсной вибрации трубопроводной арматуры // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2016. Т. 15. № 2. С. 145-151.
6. Куличкова Е. А., Кузьмин С. А. Результаты экспериментальных исследований вибрации запорной арматуры при нестационарных режимах работы // Судостроение. №4. 2013. С. 70-72.
7. Методика контроля импульсной вибрации арматуры и гидравлической аппаратуры на заводских стендах (МКИВС-95А). СПб.: ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова. 1995. 13 с.
8. Prokofiev A., Makariyants G., Shakhmatov E. Modeling of pipeline vibration under the pressure ripples in the working fluid. 17th International Congress on Sound and Vibration (ICSV17). 2010. pp 1-8.

**References**

1. Moussou P., Lafon Ph., Potapov S., Paulhiac L., Tijsselling A.S. Industrial cases of FSI due to internal flows, Technical University of Eindhoven, Department of Mathematics and Computer Science, Eindhoven, Reports on applied and numerical analysis 0404, 2004.
2. Kingsep A. S., Lokshin G. R., Ol'khov O. A. Osnovy fiziki [Fundamentals of physics]. Moscow. FIZMATLIT, 2001. Vol.1. 560 p.
3. King R. P. Introduction to practical fluid flow. Butterworth-Heinemann. 2002. 198 p.
4. Moujaes S. F., Jagan R. 3D CFD Predictions and Experimental Comparisons of Pressure Drop in a Ball Valve at Different Partial Openings in Turbulent Flow. Journal of Energy Engineering. 2008. Vol. 134, № 1, pp. 24-28.
5. Kulichkova E.A. Snizhenie impul'snoy vibratsii truboprovodnoy armatury [Reducing vibration of valve under transient condotions]. Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika S.P. Koroleva (natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta). 2016. Vol. 15. № 2. pp. 145-151.
6. Kulichkova E. A., Kuz'min S. A. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovanie vibratsii zapornoj armatury pri nestatsionarnykh rezhimakh raboty [Results of experimental surveys of stop valves vibration when operating in transient conditions]. Sudostroenie. 2013. №4. pp. 70-72.
7. Metodika kontrolya impul'snoy vibratsii armatury i gidravlicheskoj apparatury na zavodskikh stendakh (MKIVS-95A) [Control procedure of vibration on factory stands]. SPb, 1995. 13 p.
8. Prokofiev A., Makariyants G., Shakhmatov E. Modeling of pipeline vibration under the pressure ripples in the working fluid. 17th International Congress on Sound and Vibration (ICSV17). 2010. pp. 1-8.

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)**

УДК 621.43

### **ВЛИЯНИЕ КИНЕТИКИ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА НА ПАРАМЕТРЫ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

**Глушков Сергей Павлович**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры  
«Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин»  
Сибирский государственный университет путей сообщения  
630049, Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191  
тел. 8-9139-251-562; e-mail: rcpl@ngs.ru

**Косенко Денис Юрьевич**

преподаватель  
Новосибирский колледж автосервиса и дорожного хозяйства  
630087, Новосибирск, ул. Ватутина, 61а  
тел. 8-9231-000-151; e-mail: denis.garant@yandex.ru

**Кочергин Виктор Иванович**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин»  
Сибирский государственный университет путей сообщения  
630049, Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191  
тел. 8-9139-876-380; e-mail: vkplus2011@yandex.ru

**Красников Василий Викторович**

аспирант  
Сибирский государственный университет путей сообщения  
630049, Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191  
тел. 8-9537-722-761; e-mail: mexani@ngs.ru

#### **Аннотация**

Неравномерность вращения валов и валопроводов оказывает существенное влияние на выходные характеристики судовых энергетических установок. В частности, неравномерность вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания влияет на характер вынужденных колебаний, которые могут привести к возникновению резонансных явлений. Одним из малоизученных факторов, изменяющих степень неравномерности вращения энергетической установки, является кинетика горения топлива.

В работе приведены результаты исследований влияния кинетики горения топлива на параметры неравномерности различных энергетических установок на примере использования альтернативных видов топлива. При проведении исследований применялся водородсодержащий синтез-газ, как один из наиболее перспективных видов альтернативного топлива. В качестве параметров неравномерности оценивались неравномерность вращения коленчатого вала и неравномерность пульсации масла в масляной магистрали двигателя внутреннего сгорания.

В результате исследований показана необходимость учета зависимости показателей неравномерности вращения энергетических установок от вида и состава применяемого топлива. Исследования также показали, что добавки водородсодержащего синтез-газа оказывают положительное влияние на характеристики двигателей внутреннего сгорания и использование данного топлива может являться перспективным направлением совершенствования судовых энергетических установок.

**Ключевые слова:** *неравномерность вращения, кинетика горения топлива, альтернативное топливо, водородсодержащий синтез-газ*

## INFLUENCE OF THE COMBUSTION KINETICS ON THE PARAMETERS OF THE ROTATION FLUCTUATIONS OF SHIP POWER PROPULSION PLANT

**Glushkov Sergei Pavlovich**

Professor, Dr.Sci.Tech.,  
Professor of Department of technology of transport  
mechanical engineering and operation of cars  
Siberian State Transport University  
191, D. Kovalchuk str., Novosibirsk 630049, Russian Federation  
e-mail: vkplus2011@yandex.ru

**Kosenko Denis Yurievich**

Teacher  
Novosibirsk College of car service and road facilities  
61a, Vatutina str., Novosibirsk 630087, Russian Federation  
e-mail: denis.garant@yandex.ru

**Kochergin Victor Ivanovich**

Ph. Dr.Sci.Tech.,  
Associate professor of Department of technology of transport  
mechanical engineering and operation of cars  
Siberian State Transport University  
191, D. Kovalchuk str., Novosibirsk 630049, Russian Federation  
e-mail: rcpl@ngs.ru

**Krasnikov Vassiliy Victorovich**

Graduate student  
Siberian State Transport University  
191, D. Kovalchuk str., Novosibirsk 630049, Russian Federation  
e-mail: mexani@ngs.ru

### Abstract

The unevenness of rotation of billows and shaftings renders substantial influence on output descriptions of ship power plants. In particular, the unevenness of rotation of crankshaft of combustion engine influences on character of force vibrations. These vibrations can result in the origin of the resonant phenomena. One of insufficiently known factors, changing the degree of unevenness of rotation of power plant, kinetics of burning of fuel is.

Results over of researches of influence of kinetics of burning of fuel are in-process brought on the parameters of unevenness of different power plants on the example of the use of alternative types of fuel. In studies used hydrogen-containing synthesis gas as one of the most promising alternative fuels. As parameters of unevenness the unevenness of rotation of crankshaft and unevenness of pulsation of oil was estimated in the oily highway of combustion engine.

As a result of researches the necessity of account of dependence of indexes of unevenness of rotation of power plants is shown from a kind and composition of the applied fuel. Researches showed also, that additions hydrogenous synthesis-gas is rendered positive influence on descriptions of combustion engines and the use of this fuel can be perspective direction of perfection of ship power plants.

**Key words:** unevenness rotations, kinetics of fuel combustion, alternative fuel, hydrogen-containing synthesis gas

### Введение

Валы и валопроводы судовых энергетических установок (СЭУ) подвержены воздействию различных видов колебаний вследствие периодически изменяющихся величин крутящего момента и момента сопротивления. Возникновение колебаний крутящего момента двигателя внутреннего сгорания (ДВС), которые принято относить к вынужденным колебаниям, обусловлено периодическими процессами изменения знакопе-

ременных сил давления газов в цилиндрах ДВС и сил инерции. Переменный характер момента сопротивления способствует повышению расхода топлива и снижению мощности СЭУ. Возникающие при эксплуатации СЭУ крутильные колебания представляют собой колебания периодического характера в плоскости вращения масс двигателя и потребителя мощности, при которых участки валов между этими массами подвергаются циклическим процессам скручивания и раскру-

чивания, создающим в конечном итоге возможность возникновения резонансных явлений с негативными последствиями.

В связи с этим, на наш взгляд, для обеспечения надежности СЭУ необходимо уделять большее внимание исследованиям параметров неравномерности, в том числе, изучению причин и количественных характеристик снижения эффективных показателей энергетических установок при работе на неустановившихся режимах; исследованию особенностей осуществления рабочего процесса двигателей в зависимости от характеристик неустановившегося режима работы и устранению негативных последствий воздействия колебаний и вибраций на показатели эффективности работы судовых энергетических установок.

### 1. Постановка задач исследования

Среди прочих причин возникновения неравномерности вращения коленчатых валов СЭУ на основе двигателей внутреннего сгорания является такой достаточно малоизученный фактор, как процесс нарастания давления в цилиндрах в результате сгорания топлива. В теории двигателей внутреннего сгорания, как правило, принимаются упрощения, считающие время сгорания топлива постоянной величиной, не связанной с динамическими характеристиками ДВС. Такое схематичное отражение изменения параметров состояния рабочего тела в течение процессов сгорания не дает представления о действительном характере протекания процессов выделения теплоты во времени, то есть, об истинной кинетике процесса сгорания топлива. Такты расширения в различных цилиндрах ДВС и, тем более, у различных энергетических установок, не могут быть идентичными по времени их протекания или же по углу поворота коленчатого вала и зависят от свойств применяемого топлива, угла опережения зажигания (или угла опережения впрыска у дизельных двигателей), а также технического состояния ДВС.

Динамика сгорания топлива совместно с силами инерции определяет газовые и инерционные нагрузки на детали кривошипно-шатунного механизма, влияет на характер крутильных колебаний системы коленчатого вала и определяется главным образом тремя факторами: кинетикой процесса сгорания (скоростью сгорания топлива), скоростью изменения объема рабочего тела (то есть, скоростью поршня) и величиной угла опережения воспламенения [1]. Таким образом, любое изменение состава, температуры, влажности или же цетанового числа дизельного топлива вызывает изменение величины задержки воспламенения, скорости распространения пламенных процессов в камере сгорания и, как следствие, скорости поршня [2,3], исходя из условно адиабатического процесса сгорания топлива в цилиндрах ДВС, описываемого известным уравнением термодинамики  $pV^k = const$ . Несмотря на кажущуюся очевидность данного утверждения, обыч-

но при динамических расчетах ДВС скорость поршня принимается постоянной, равной средней величине, но в действительности она принимает различные значения в различные моменты времени в зависимости не только от угла поворота коленчатого вала, но и от протекания процесса горения топлива и нарастания давления в цилиндрах ДВС.

Учет кинетических особенностей сгорания топлива и анализ их взаимосвязи с параметрами рабочих процессов особенно необходим при использовании новых, перспективных видов топлив. В связи с этим в данной работе с целью выяснения, влияет ли состав используемого топлива на параметры неравномерности судовых энергетических установок, объектом исследования был выбран процесс изменения параметров неравномерности дизельных двигателей внутреннего сгорания при добавке во впускной коллектор водородсодержащего синтез-газа.

Таким образом, основными задачами проводимых научных исследований являются:

- установление взаимосвязи кинетики горения топлива путем кардинального изменения его состава на динамические характеристики ДВС;
- оценка перспективности применения водородсодержащего синтез-газа в качестве альтернативного вида топлива для судовых энергетических установок.

Выбор данного типа топлива обусловлен тем, что вектор развития научно-технического прогресса однозначно указывает на перспективное развитие водородной энергетики в соответствии с обозначенными направлениями развития так называемого шестого технологического уклада [4]. Но применение в качестве топлива для транспортных средств чистого водорода требует решения целого ряда проблем, таких как:

- кардинальные изменения принципов транспортировки и хранения топлива;
- высокая стоимость производства водорода и нерешенные противоречия процессов его производства, требующих затрат значительного количества энергии, произведенной традиционными, наносящими значительный экологический ущерб способами;
- невыясненные последствия массовых выбросов воды в атмосферу;
- невозможность использования ныне существующих конструкций энергетических установок с целью применения водорода как альтернативного вида топлива без существенных изменений.

В связи с вышеизложенным, для двигателей внутреннего сгорания, в том числе, дизельных, предпочтительней использовать водород в качестве добавки к основному топливу [5,6]. При частичной конвертации традиционного углеводородного топлива в водородсодержащий синтез-газ непосредственно на борту машины не требуется хранение запасов водорода и появляется возможность повысить характеристики традиционных энергетических установок без значитель-

ных конструктивных изменений в области экологичности продуктов сгорания и в части повышения мощности [7]. Состав предполагаемого к использованию синтез-газа – приблизительно равные части водорода  $H_2$  и окиси углерода  $CO$ .

## 2. Методика проведения исследований

Получение водородсодержащего синтез-газа непосредственно на борту судна предполагается на основе разработанного в Сибирском государственном университете путей сообщения совместно с Институтом катализа Сибирского отделения РАН каталитического реактора, позволяющего осуществить парциальное окисление дизельного топлива [8]. Но, поскольку прошедший успешные испытания макетный образец такого устройства не обладает требуемой производительностью, при проведении экспериментальных исследований были использованы эталонные смеси промышленных газов, подаваемые во впускные коллекторы ДВС с использованием обратных клапанов и редукторов-расходомеров газа.



Рис. 1. Общий вид программно-измерительного комплекса

Для решения задач аппаратного анализа параметров неравномерности вращения коленчатого вала ДВС использовалось специальное диагностическое программно-измерительное оборудование [9,10], обеспечивающее получение и вывод на экран компьютера графических зависимостей угловой скорости и углового ускорения от времени и угла поворота коленчатого вала, а также других параметров технического состояния энергетических установок, например, давления масла [11]. Применение аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) для обработки как аналоговых, так и цифровых сигналов позволило унифицировать схему блока адаптеров сигналов и алгоритмов первичной обработки сигналов. Программно-измерительный комплекс (рис. 1) включает в себя, помимо персонального компьютера 1 и АЦП 2, датчик угловых перемещений вала (эн-

кодер с оптическим диском) 3, закрепляемый на переднем шкиве коленчатого вала, с набором сменных адаптеров 4, коммутационное оборудование 5, а также пьезоэлектрический либо оптический датчик положения коленчатого вала (датчик верхней мертвой точки).

Параметрическая оценка вращательного движения валов в используемом измерительном оборудовании основана на принципе измерения угловой скорости путем расчета значений времени прихода передних фронтов цифровых сигналов от оптического диска энкодера. Исходная информация передается на аналого-цифровой преобразователь. В результате анализа отчетов АЦП получается одномерный массив временных меток, при этом период между двумя временными метками соответствует шагу энкодера, который имеет 360 меток на 1 оборот. При необходимости программно-измерительным комплексом рассчитывается угловое ускорение коленчатого вала.

## 3. Результаты экспериментальных исследований

С целью определения принципиальной возможности использования в дизельных ДВС водородсодержащего синтез-газа в качестве добавок к основному топливу были проведены предварительные эксперименты на одноцилиндровой дизель-генераторной энергетической установке. После получения положительных результатов, в том числе, в плане улучшения плавности хода двигателя, экспериментальные исследования были продолжены на энергетических установках с дизельными двигателями 4ЧН 9,5/11,5 и 4Ч 11/12,5.

Подача синтез-газа при проведении экспериментов производилась ступенчато, с фиксацией режима при каждом значении расхода водородсодержащей смеси и с учетом известного из литературных источников и установленного в процессе предварительных исследований значения максимально целесообразной величины добавки водорода (в составе синтез-газа) в размере 6...10 % от массы основного топлива.

Добавки водородсодержащего синтез-газа вследствие изменения изменяют кинетику горения топлива и процессов регулирования частоты вращения. На рисунках 2 и 3 приведены результаты регистрации характера процессов внутрициклового неравномерности частоты вращения дизель-генераторной установки 4ЧН 9,5/11,5 соответственно без подачи и с подачей водородсодержащего синтез-газа. Подача синтез-газа, как следует из приведенных графиков, привела к увеличению абсолютных значений степени неравномерности частоты вращения. Но, в целом, можно сделать вывод о некотором положительном изменении характера внутрициклового неравномерности частоты вращения в сторону улучшения плавности хода.

Кроме того, с помощью специального измерительного оборудования, включающего в себя пьезоэлектрический вибропреобразователь и автономный регистратор ударных и вибрационных воздействий, исследовалось влияние добавок водородсодержащего синтез-газа на вибрационную нагруженность дизельного двигателя. Исследования подтвердили незначительное изменение характера вибрационной нагрузки при изменении величины подачи газообразного топлива.

На рисунке 4 показаны результаты измерения средней величины давления масла. Давление измерялось в главной масляной магистрали (ГММ) двигателя 4Ч 11/12,5. Из приведенных зависимостей видно, что добавки водородсодержащего топлива способствуют сглаживанию пульсаций масла в системе смазки в течение отдельных циклов, что соответствует снижению общей неравномерности вращения коленчатого вала ДВС и сходится с результатами предыдущих экспериментов.

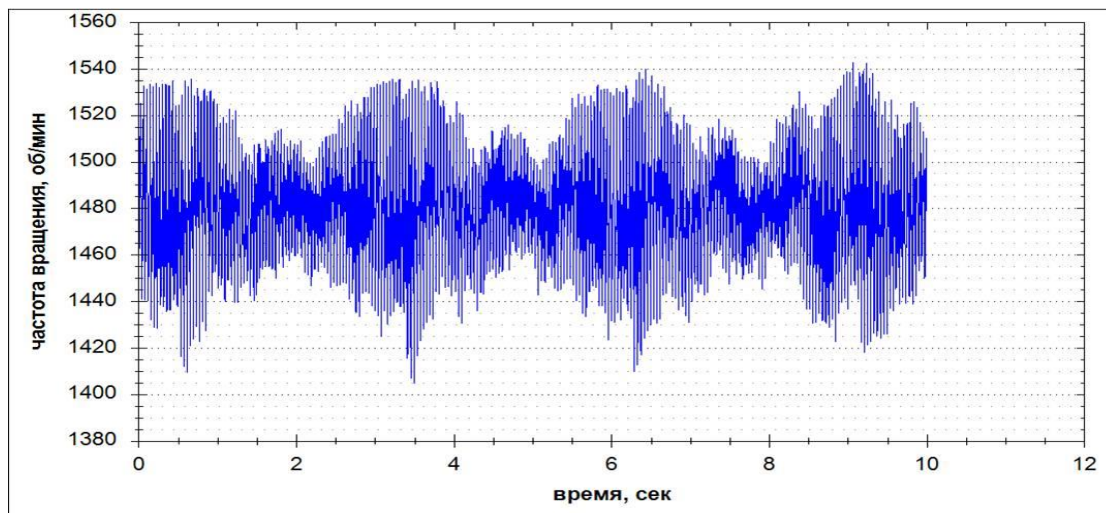


Рис. 2. Работа дизель-генераторной установки 4ЧН 9,5/11,5 без подачи синтез-газа

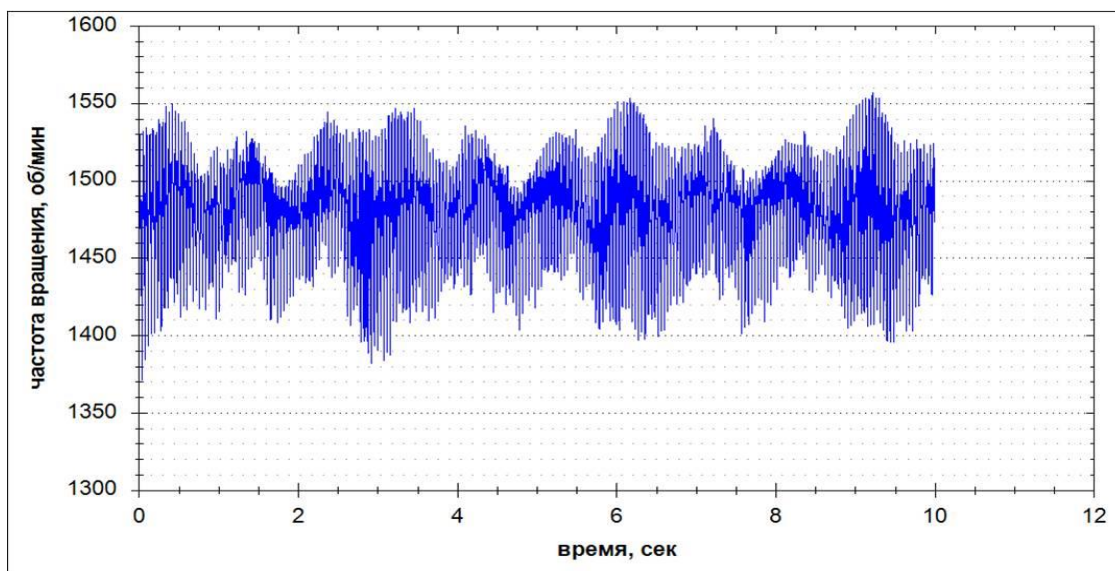


Рис. 3. Работа дизель-генераторной установки 4ЧН 9,5/11,5 при добавке водородсодержащего синтез-газа с расходом 50 л/мин



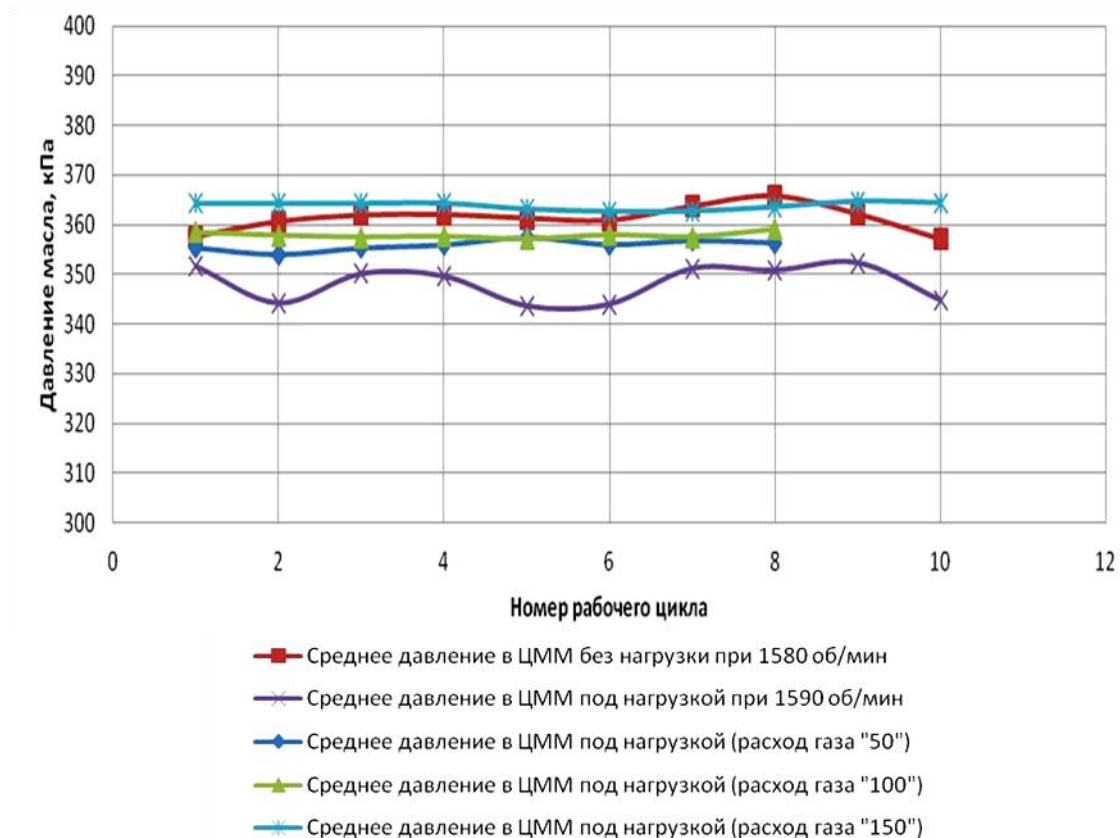


Рис. 4. Изменение средней величины давления масла в главной масляной магистрали двигателя 4С 11/12,5 в зависимости от величины подачи водородсодержащего синтез-газа

**Заключение**

В результате проведенных исследований доказано влияние кинетики горения топлива на параметры неравномерности СЭУ и показана необходимость учета зависимости показателей неравномерности вращения от вида и состава применяемого топлива с целью снижения негативного воздействия на надежность энергетических установок. Для реализации данной задачи необходимо контролировать параметры неравномерности вращения энергетических установок в эксплуатационных условиях. Исследования также показали, что добавки водородсодержащего син-

тез-газа оказывают положительное влияние на характеристики двигателей внутреннего сгорания и, следовательно, использование данного вида топлива может являться перспективным направлением совершенствования судовых энергетических установок.

**Благодарности**

Работа выполнена в рамках гранта на научные исследования, выделенного руководством Сибирского государственного университета путей сообщения.

**Литература**

1. Шароглазов Б.А., Фарафонов М.Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов. – Челябинск: Издательство Южно-Уральского государственного университета, 2004. – 344 с.
2. Вибе И.И. Теория двигателей внутреннего сгорания: конспект лекций. – Челябинск: ЧПИ, 1974. – 252 с.
3. Воинов А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. – М.: Машиностроение, 1977. – 277 с.
4. Кузык Б.Н., Кушлин В.И., Яковец Ю.В. На пути к водородной энергетике. – М: Институт экономических стратегий, 2005. – 155 с.
5. Кочергин В.И. Особенности взаимодействия инноваций и научно-технического прогресса / Влияние науки на инновационное развитие. – Ч. 3. – Уфа: АЭТЕРНА, 2016. – С. 82-85.
6. Кочергин В.И., Глушков С.П. Особенности решения проблем обеспечения безопасности при реализации инновационных процессов / Вестник ПНИПУ. Безопасность и управление рисками. – 2016. – № 5. – С. 203-209.

7. Глушков С.П., Кочергин В.И., Красников В.В. Повышение эксплуатационных показателей дизельных ДВС путем использования водородсодержащего синтез-газа / Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста государства. – Красноярск: СФУ, 2016. – Ч. 2. – С. 244-247.
8. Porsin A., Kulikov A., Dalyuk I., Rogozhnikov V., Kochergin V. Catalytic reactor with metal gauze catalysts for combustion of liquid fuel / Chemical Engineering Journal. – 2015. – № 282. – P. 233-240.
9. Алехин А.С., Кочергин В.И., Манаков А.Л. Использование внутрицикловых параметров вращения коленчатого вала для оценки технического состояния двигателей внутреннего сгорания / Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – № 1. – С. 178-182.
10. Патент РФ № 156202, МПК G01M 15/00. Устройство для контроля неравномерности вращения вала двигателя внутреннего сгорания / Алехин А.С., Кочергин В.И., Манаков А.Л.
11. Косенко Д.Ю., Пятин А.С., Моносзон А.А., Кошевой В.Г. Новые средства диагностики как фактор повышения эффективности использования автотракторной техники / Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. – Новосибирск: НГАУ. – 2015. – С. 13-17.

#### References

1. Sharoglazov B.A., Farafontov M.F, Klement'ev V.V. Dvigateli vnutrennego sgoraniya: teoriya, modelirovanie i raschet protsessov [Combustion engines: theory, design and calculation of processes]. Chelyabinsk, Izdatel'stvo Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta, 2004, 344 p.
2. Vibe I.I. Teoriya dvigateley vnutrennego sgoraniya: konspekt lektsiy [Theory of combustion engines: Compendium of lectures]. Chelyabinsk, ChPI, 1974, 252 p.
3. Voinov A.N. Sgoranie v bystrokhodnykh porshnevnykh dvigatelyakh [Combustion in high-speed piston engines]. Moscow, Mashinostroenie, 1977, 277 p.
4. Kuzyk B.N., Kushlin V.I., Yakovets Yu.V. Na puti k vodorodnoy energetike [On the way to hydrogen power]. M, Institut ekonomicheskikh strategiy, 2005, 155 p.
5. Kochergin V.I. Osobennosti vzaimodeystviya innovatsiy i nauchno-tehnicheskogo progressa [Features of interaction of innovations and scientific and technical progress]. Vliyanie nauki na innovatsionnoe razvitie. Part 3. Ufa, AETERNA, 2016, pp. 82-85.
6. Kochergin V.I., Glushkov S.P. Osobennosti resheniya problem obespecheniya bezopasnosti pri realitsii innovatsionnykh protsessov [Features of the solution of problems of safety at realization of innovative processes]. Vestnik PNIPU. Bezopasnost' i upravlenie riskami, 2016, № 5, pp. 203-209.
7. Glushkov S.P., Kochergin V.I., Krasnikov V.V. Povyshenie ekspluatatsionnykh pokazateley dizel'nykh DVS putem ispol'zovaniya vodorodsoderzhashchego sintez-gaza [Increase in operational indicators of diesel engines by use hydrogen-containing synthesis gas]. Transportnye sistemy Sibiri. Razvitie transportnoy sistemy kak katalizator rosta gosudarstva. Krasnoyarsk, Sibirskiy federal'nyy universitet, 2016, P. 2, pp. 244-247.
8. Porsin A., Kulikov A., Dalyuk I., Rogozhnikov V., Kochergin V. Catalytic reactor with metal gauze catalysts for combustion of liquid fuel. Chemical Engineering Journal, 2015, № 282, pp. 233-240.
9. Alekhin A.S., Kochergin V.I., Manakov A.L. Ispol'zovanie vnutritsiklovykh parametrov vrashcheniya kolchatogo vala dlya otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya dvigateley vnutrennego sgoraniya [Use of intra cyclic parameters of rotation of a bent shaft for an assessment of technical condition of internal combustion engines]. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka, № 1, pp. 178-182.
10. Alekhin A.S., Kochergin V.I., Manakov A.L. Ustroistvo dlia kontrolya neravnomernosti vrashcheniya vala dvigatelya vnutrennego sgoraniya [The device for control of unevenness of rotation of a shaft of an internal combustion engine]. Patent RF No. 156202.
11. Kosenko D.Yu., Pyatin A.S., Monoszon A.A., Koshevoy V.G. Novye sredstva diagnostiki kak faktor povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya avtotraktornoy tekhniki [New diagnostic tools as a factor in increasing the efficiency of the use of autotractor technology]. Sostoyanie i innovatsii tekhnicheskogo servisa mashin i oborudovaniya. Novosibirsk, NGAU, 2015, pp. 13-17.

УДК 621.797

## ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

**Леонтьев Лев Борисович**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сварочного производства  
Дальневосточный федеральный университет  
690600, Владивосток, ул. Суханова, 8  
e-mail: leontyev.l.b@yandex.ru

**Леонтьев Андрей Львович**

кандидат технических наук, генеральный директор,  
ООО «Морфлот»  
690014, Владивосток, проспект Красного Знамени, 82в, офис 2  
e-mail: gfi25leontev@mail.ru

### Аннотация

Известно, что 70–90 % судовых дизелей имеют заниженную мощность при повышенном удельном расходе топлива вследствие увеличения зазора в плунжерных парах топливных насосов высокого давления (ТНВД). В настоящее время для повышения износостойкости и уменьшения коэффициента трения пар трения нашли широкое применение органоминеральные материалы, которые способны формировать износостойкие металлокерамические пленки толщиной до 2–5 мкм.

Целью данной работы является определение долговечности и эффективности топливных насосов высокого давления судовых дизелей с плунжерными парами, имеющими различные износостойкие покрытия, по сравнению с серийными.

Для выявления характера и динамики износа плунжерных пар с различными видами покрытий проведены сравнительные ускоренные испытания на универсальном стенде для испытаний и регулировки ТНВД дизелей типа СДТ-4.

Для восстановления и упрочнения плунжерных пар применяли гальваническое хромирование с последующей трибомодификацией следующими органоминеральными материалами: вермикулитом, серпентинитом и хитозаном.

Ускоренные сравнительные испытания плунжерных пар позволили установить, что величина износа оказывает наибольшее влияние на давление топлива, создаваемое ТНВД.

Восстановление плунжерных пар методом гальванического хромирования плунжера с последующим его упрочнением органоминеральными материалами на основе серпентинита приводит к существенному повышению долговечности и эффективности ТНВД вследствие снижения скорости изнашивания трибосопряжения, более стабильных параметров цикловой подачи топлива и давления топлива, развиваемого насосом.

**Ключевые слова:** долговечность, дизель, плунжер, износ, топливо, модифицирование, триботехнический материал, покрытие, технология.

## INCREASING DURABILITY AND EFFECTIVENESS FUEL PUMPS OF HIGH PRESSURE SHIP DIESEL ENGINES

**Leont'ev Lev Borisovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Welding Production  
Far Eastern Federal University  
690600, Vladivostok, ul. Sukhanov, 8  
e-mail: leontyev.l.b@yandex.ru

**Leont'ev Andrei Lvovich**

Candidate of Technical Sciences, General Director, «Morflot LTD»  
690014, Vladivostok, the Red Banner Avenue, 82в, office 2  
e-mail: gfi25leontev@mail.ru

### Abstract

It is known that 70-90% of marine diesel engines have low power with increased specific fuel consumption due to the increase of clearance in plunger pairs of high pressure fuel pumps (HPFP). At

present, to increase wear resistance and reduce friction coefficient of friction pairs, organic materials, which are able to form a wear-resistant cermet films are widely used.

The aim of this work is to determine HPFP durability and efficiency of marine diesel engines with plunger pairs having different wear-resistant coatings, compared to the production plunger pairs.

To identify the nature and dynamics of wear of plunger pairs with different types of coatings, comparative accelerated tests were conducted on the multi-purpose bench for testing and adjustment HPFP diesels like SDT-4.

Galvanic chrome plating with subsequent tribomodification with the following organic materials: vermiculite, serpentinite and chitosan were used to recover and harden the plunger pairs.

Accelerated comparative tests of the plunger pairs allowed establishing that the rate of wear has the most effect on the fuel pressure generated by HPFP.

The recovery of the plunger pairs by galvanic chromium plating of the plunger with its subsequent hardening with the organic materials on the basis of serpentinite leads to a significant increase in durability and efficiency of HPFP due to reduction of tribocoupling wear rate, more stable parameters of the cyclic fuel delivery and the fuel pressure developed by the pump.

**Key words:** durability, diesel, plunger, wear, fuel, modification, tribotechnical material, coating, technology.

### Введение

Надежность топливных насосов высокого давления (ТНВД) судовых дизелей после их перевода на тяжелые сорта топлива не соответствует должному уровню качества и безотказности дизеля, в который они входят. Плунжерные пары являются одними из наиболее ответственных и наименее долговечных узлов ТНВД. Они работают в чрезвычайно сложных условиях вибрации, высоких и переменных давлений, повышенных температур. При этом плунжерными парами обеспечиваются: периодический впрыск топлива в камеру сгорания в количестве, соответствующем нагрузке двигателя; своевременное начало и продолжительность впрыска, определяющие эксплуатационные показатели двигателя; оптимальный закон подачи топлива. Экономичность и надежность судовых дизелей в значительной степени зависят от технического состояния плунжерных пар. При эксплуатации дизелей происходит износ как плунжера, так и втулки ТНВД. Износ этих деталей приводит к увеличению зазоров в сопряжении и как следствие — к потере гидроточности, снижению мощности судовых дизелей и перерасходу топлива [1, 2].

Анализ технической информации показал, что 70–90 % судовых дизелей имеют заниженную мощность при повышенном удельном расходе топлива из-за нестабильной работы топливной аппаратуры, что приводит к значительному перерасходу топлива.

Основными причинами увеличения зазора в плунжерных парах ТНВД судовых дизелей является абразивное, гидроабразивное и кавитационно-эрозионное изнашивание. Наиболее интенсивный износ наблюдается в период приработки деталей, когда устраняется несоответствие выполненных параметров шероховатости, отклонений формы и расположения прецизионных поверхностей зазору между сопряженными деталями, далее интенсивность износа уменьшается [1].

Поверхностный слой детали в условиях эксплуатации подвергается наиболее сильному механическому, тепловому, коррозионному и другим воздействиям. Отказ детали и необходимость в

ее замене возникает в большинстве случаев из-за разрушения ее поверхностного слоя вследствие различных видов изнашивания. Поэтому обеспечение заданной надежности детали в большинстве случаев сводится к формированию оптимальных свойств поверхностного слоя различными технологическими методами.

Существующие технологические процессы восстановления не обеспечивают требуемую долговечность и эффективность плунжерных пар ТНВД, так как при их проектировании не учитываются комплексно технологические особенности методов нанесения покрытий и упрочнения, их технико-экономические показатели, а также условия эксплуатации деталей. Необеспечение требуемых показателей долговечности восстановленных плунжерных пар ТНВД предопределяет необходимость совершенствования технологии их восстановления, а также оценки долговечности восстановленных деталей в зависимости от полученных параметров материала поверхностного слоя.

Для восстановления плунжерных пар ТНВД судовых дизелей наибольшее распространение получила технология гальванического пористого хромирования, однако из-за наличия абразивных частиц в судовом топливе износостойкость покрытия недостаточна, поэтому необходимо дополнительное его упрочнение [3].

В настоящее время наиболее перспективным методом повышения износостойкости и уменьшения коэффициента трения пар трения является применение триботехнических органоминеральных материалов, которые способны формировать износостойкие металлокерамические пленки толщиной до 2–5 мкм, содержащие в большом количестве Si, Al, O, C. Формирование пленки происходит за счет энергии, выделяющейся в процессе трения при граничной смазке. Наиболее широкое распространение для упрочнения поверхностей трения получили природные слоистые силикаты: серпентинит и вермикулит, а также композиции на их основе [2–8].

### 1. Методика и материалы

Для выявления характера и динамики износа плунжерных пар с различными видами покрытий проведены сравнительные ускоренные испытания на универсальном стенде для испытаний и регулировки ТНВД дизелей типа СДТ-4. Конструкция стенда позволяет испытывать в одинаковых условиях одновременно четыре плунжерные пары. В качестве объекта исследования был взят блочный топливный насос высокого давления двигателя Ч 10,5/13. Этот двигатель устанавливается на судах морского флота в качестве вспомогательного и имеет диаметр плунжера 8 мм. Ускоренные износные испытания проводились в несколько этапов. Длительность этапов составляла 5; 5; 5; 10 и 15 часов (всего 40 ч).

Для форсирования испытаний в рабочую жидкость добавляли абразивный порошок (кварцевую пыль) дисперсностью 1–5 мкм. При проведении эксперимента применялось дизельное топливо марки Л-0,5 по ГОСТ 305-82. Концентрация загрязнителя в топливе составляла 1%. Перед введением в бак загрязнителя последний был тщательно перемешан в стакане с топливом, отобранном из бака. Введение искусственного загрязнителя в топливо позволяет существенно сократить время сравнительных испытаний плунжерных пар ТНВД.

Величина износа прецизионных деталей оценивается тысячными долями миллиметра (микронными), поэтому определить ее весьма сложно. В связи с этим износ в прецизионных парах определяли относительным способом на стенде для проверки плотности плунжерных пар по потере гидравлической плотности, то есть по утечке жидкости под определенным давлением. Утечка жидкости зависит не только от имеющихся зазоров в деталях, но и от температуры и вязкости жидкости. Поэтому проверку гидравлической плотности плунжерных пар выполняли при постоянной температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  и дизельным топливом вязкостью  $4,6 \pm 0,1$  сСт ( $3,5 \pm 0,1 \times 10^6$  м<sup>2</sup>/с). Для восстановленных плунжерных пар допускается падение давления от 20 МПа до 15 МПа не менее 15 с [9].

Перед началом испытаний и после каждого этапа испытаний определяли цикловую подачу каждой пары в ТНВД и максимальное давление, создаваемое плунжерной парой.

Для модифицирования хромового покрытия использовали следующие природные органоминеральные материалы: вермикулит (брутто-формула:  $\text{Mg} \cdot \text{Fe}_{0,8} \cdot \text{Al}_{0,4} \cdot \text{Si}_{2,1} \text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot (\text{CaSiO}_3)_{0,9}$ ), серпентинит ( $\text{Mg} \cdot \text{Fe}_{0,8} \cdot \text{Al}_{0,4} \cdot \text{Si}_{2,1} \text{O}_9 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot (\text{CaSiO}_3)_{0,9}$ ), хитозан ( $(\text{C}_6\text{O}_4\text{H}_7\text{NH}_2)_n$ ).

Упрочнение плунжерных пар органоминеральными материалами после их гальванического хромирования осуществляли методом трибомодификации с использованием цилиндрического индентора из закаленной стали марки ХВГ твердостью 62–64 HRC. В зону трения подавалась смазка капельным методом, содержащая 40% триботехнического материала. Линейная скорость упрочня-

мой поверхности была постоянной и составляла 0,71 м/с. Для устранения задира в процессе упрочнения была реализована ступенчатая схема увеличения усилия прижатия индентора к упрочняемой поверхности с интервалом 10 Н/мм<sup>2</sup>. Минимальная величина усилия составляла 10 Н/мм<sup>2</sup>, максимальная — 40 Н/мм<sup>2</sup>. Время воздействия при каждой нагрузке составляло 1 мин.

Для исследований были взяты следующие опытные плунжерные пары:

- новая плунжерная пара;
- плунжерная пара с плунжером, хромированным на оптимальном режиме, обеспечивающем пористое покрытие и минимальные коэффициенты трения и величину износа;
- плунжерная пара с плунжером, хромированным на оптимальном режиме, с последующим упрочнением композицией 90% серпентинита + 10% вермикулита;
- плунжерная пара с плунжером, хромированным на оптимальном режиме, с последующим упрочнением композицией 90% серпентинита + 10% вермикулита, модифицированного хитозаном.

Основным критерием работоспособности плунжерных пар является цикловая подача топлива насосом на пусковых оборотах (для СОД это  $1,67$  с<sup>-1</sup> ( $100$  мин<sup>-1</sup>)). Поэтому анализ долговечности плунжерных пар проводили как по изменениям цикловой пусковой подачи топлива и давления топлива в топливопроводе высокого давления на пусковых оборотах. После испытаний также определяли величины износа плунжерных пар и их гидравлическую плотность на стенде. Ресурсные испытания плунжерных пар проводили при номинальном числе оборотов кулачкового вала, соответствующем номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя —  $25$  с<sup>-1</sup> ( $1500$  мин<sup>-1</sup>).

Для восстановления были взяты плунжерные пары после их эксплуатации, но не имеющие следов кавитационно-эрозионного изнашивания в районе отсечных кромок для исключения влияния местных износов на контролируемые параметры при сравнительных ускоренных испытаниях. Для испытаний плунжерные пары подбирали таким образом, чтобы величины их гидроплотности и давления топлива, развиваемого ТНВД перед началом испытаний, были примерно одинаковы.

### 2. Результаты и обсуждение

После ускоренных сравнительных стендовых испытаний гидроплотность серийных плунжерных пар уменьшилась до 7 с, восстановленных хромированием — до 12 с, восстановленных с применением композиционных хромо-металлокерамических покрытий — до 20 и 23 с (гидроплотность всех плунжерных пар до испытаний была 44–46 с). Незначительное снижение гидроплотности плунжерных пар упрочненных композиционными покрытиями объясняется высокой износостойкостью металлокерамического поверхностного слоя плунжера и более низкой скоростью изнашивания втулки. За счет этого как в пе-

риод приработки, так и при установившемся режиме работы сопряжение «плунжер – втулка» сохраняет более стабильную величину зазора по сравнению с серийными плунжерными парами и парами, восстановленными хромированием плунжера. Следует отметить, что плунжеры с композиционными покрытиями практически не имеют видимых следов износа (вертикальных царапин).

Цикловая подача серийных плунжерных пар ТНВД (рис. 1а) по окончании сравнительных испытаний на стенде снизилась в 2,65 раза, восстановленных хромированием – в 2,25 раза, в то время как восстановленных с применением композиционного покрытия – на 31,1% (модифицирующий состав — 90% серпентинита + 10% (вермикулит + хитозан) и на 35,5% (композиция 90% серпентинита + 10% вермикулита) вследствие более высокой износостойкости композиционного покрытия и, соответственно, минимальной величины износа в верхней части сопряжения «плунжер – втулка».

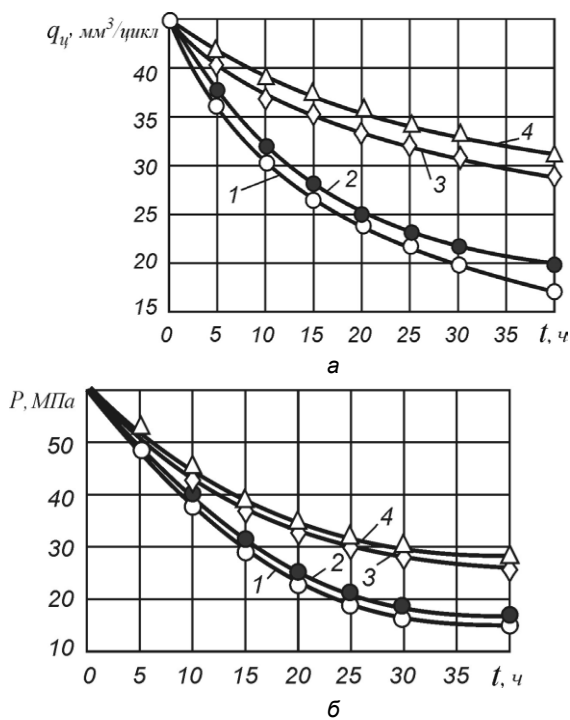


Рис. 1. Зависимости цикловой подачи топлива (а) и давления топлива, развиваемого ТНВД (б) дизеля Ч 10,5/13 от длительности стендовых испытаний для плунжерных пар: 1 – новая пара; 2 – пара с хромированным плунжером; 3 – пара с покрытием плунжера хромом, упрочненным композицией 90% серпентинита + 10% вермикулита; 4 – пара с покрытием плунжера хромом, упрочненным композицией 90% серпентинита + 10% вермикулита, модифицированного хитозаном

Давление топлива, создаваемое ТНВД серийными парами (рис 1б), по окончании испытаний составило 15 МПа (уменьшение по сравнению с исходным в 4 раза), хромированных – 18 МПа (уменьшение в 3,3 раза), с композиционными покрытиями соответственно 27 МПа (уменьшение в

2,2 раза для покрытия 90% серпентинита + 10% вермикулита) и 29 МПа (уменьшение в 2 раза для покрытия хром + 90% серпентинита + 10% вермикулита, модифицированного хитозаном).

Ускоренные сравнительные испытания плунжерных пар позволили установить, что величина износа оказывает наибольшее влияние на давление топлива, создаваемое ТНВД. Поэтому для анализа долговечности плунжерных пар с различными видами износостойких покрытий была определена зависимость цикловой подачи топлива ТНВД от развиваемого давления плунжерными парами с покрытием плунжеров гальваническим хромом и хромом, упрочненным композицией 90% серпентинита + 10% вермикулита, модифицированного хитозаном (рис. 2). Установлено, что цикловая подача ТНВД при абразивном изнашивании в сопряжении «втулка – плунжер» находится в прямо пропорциональной зависимости от развиваемого плунжерной парой давления.

На основании результатов ускоренных сравнительных испытаний плунжерных пар можно прогнозировать увеличение долговечности пар с композиционным хромо-металлокерамическим покрытием более чем в 2 раза при минимальном снижении эффективности подачи топлива, особенно во время пуска дизеля.

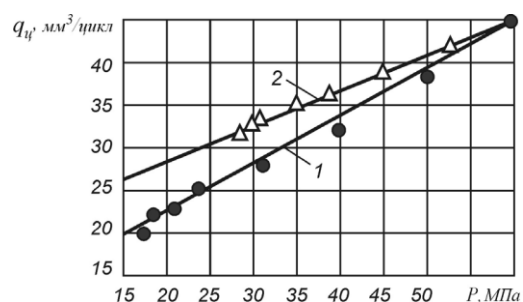


Рис. 2. Зависимости цикловой подачи топлива ТНВД дизеля Ч 10,5/13 от давления топлива, развиваемого ТНВД при ускоренных стендовых испытаниях для плунжерных пар: 1 – с покрытием плунжера гальваническим хромом; 2 – с покрытием плунжера хромом, модифицированным композицией 90% серпентинита + 10% вермикулита, модифицированного хитозаном

Износостойкость плунжерных пар с композиционными покрытиями согласуется с результатами триботехнических испытаний образцов на машине трения [3]. Меньшая износостойкость плунжерных пар с композиционными покрытиями по сравнению с износостойкостью образцов объясняется местным износом в районах наполнительного и отсечного отверстий втулок. Это связано с тем, что упрочняющее покрытие наносилось только на рабочие поверхности плунжера. Следовательно, для дальнейшего увеличения долговечности плунжерных пар целесообразно разработать технологию упрочнения рабочей поверхности втулки путем формирования металлокерамического покрытия.

На современных судах широко используются среднеоборотные дизели (СОД) новых поколе-

ний, которые приспособлены для работы на тяжелых сортах топлива с вязкостью до 380 мм<sup>2</sup>/с при 50 °С. Партии опытных плунжерных пар с композиционными покрытиями были установлены в ТНВД СОД, работающих на тяжелых сортах топлива, и успешно эксплуатировались в течение свыше 30 тыс. ч, а пары без покрытия имеют наработку до отказа в около 20 тыс. ч.

### Заключение

Полученные результаты сравнительных испытаний плунжерных пар свидетельствуют о высокой эффективности применения для условий трения, характерных для прецизионных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей, компо-

зиционных хромо-металлокерамических износостойких покрытий. Восстановление плунжерных пар путем хромирования плунжера с последующим упрочнением покрытия органоминеральными материалами на основе серпентинита приводит к существенному повышению долговечности и эффективности топливных насосов высокого давления вследствие снижения скоростей изнашивания трибосопряжения, цикловой подачи топлива и давления топлива, развиваемого насосом. Наиболее перспективной для упрочнения плунжеров ТНВД судовых дизелей является композиция 90% серпентинита + 10% вермикулита, модифицированного хитозаном.

### Литература

1. Бахтиаров Н.И., Логинов В.Е., Лихачев И.И. Повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры дизелей. М.: Машиностроение, 1972. 200 с.
2. Леонтьев Л.Б., Леонтьев А.Л. Повышение надежности прецизионных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей технологическими методами // Судостроение. 2011. № 3. С. 40–41.
3. Леонтьев Л.Б., Шапкин Н.П., Леонтьев А.Л. Формирование износостойких покрытий на прецизионных узлах трения // Металлообработка. 2011. № 3. С. 14–17.
4. Зуев В.В. Использование минералов в качестве модификаторов трения // Обогащение руд. – 1993. №3. С. 33–37.
5. Лазарев С.Ю., Токманев С.Б., Хмелевская В.Б.. К вопросу о критериях выбора природных минеральных материалов и других, веществ для покрытия разного назначения // Металлообработка. 2006, №3 (33), С. 29–35.
6. Погодаев Л.И. Влияние геомодификаторов трения на работоспособность трибосопряжений // Проблемы машиностроения и надежности машин, 2005, № 1. – С. 58–66.
7. Погодаев Л.И., Крюков Е.Ю., Усачев В.В. К механизму взаимодействия природных слоистых гидросиликатов с поверхностями трения // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2009. № 5. С. 71–81.
8. Jaber M., Miehe-Brenble J., Roux M. A new Al- Mg-organoclay // New J. Chem. 2000, pp. 1597-1600.
9. РД 31.55.01.06-94 «Запасные части. Топливная аппаратура судовых дизелей. Плунжерные пары. Методика проверки плотности».

### References

1. Bahtiarov N.I., Loginov V.E., Lihachev I.I. Povyshenie nadezhnosti raboty precizionnyh par toplivnoj apparatury dizelej. M.: Mashinostroenie, 1972. 200 s.
2. Leont'ev L.B., Leont'ev A.L. Povyshenie nadezhnosti precizionnyh detalej toplivnoj apparatury sudovyh dizelej tehnologicheskimi metodami // Sudostroenie. 2011. № 3. S. 40–41.
3. Leont'ev L.B., Shapkin N.P., Leont'ev A.L. Formirovanie iznosostojkih pokrytij na precizionnyh uzlah trenija // Metalloobrabotka. 2011. № 3. S. 14–17.
4. Zuev V.V. Ispol'zovanie mineralov v kachestve modifikatorov trenija // Obogashhenie rud. – 1993. №3. S. 33–37.
5. Lazarev S.Ju., Tokmanev S.B., Hmelevskaja V.B.. K voprosu o kriterijah vybora prirodnyh mineral'nyh materialov i drugih, veshhestv dlja pokrytija raznogo naznachenija Metalloobrabotka. 2006, №3 (33), S. 29–35.
6. Pogodaev L.I. Vlijanie geomodifikatorov trenija na rabotosposobnost' tribosoprjazhenij // Problemy mashinostroenija i nadezhnosti mashin, 2005, № 1. – S. 58–66.
7. Pogodaev L.I., Krjukov E.Ju., Usachev V.V. K mehanizmu vzaimodejstvija prirodnyh sloistyh gidrosilikatov s povernostjami trenija // Problemy mashinostroenija i nadezhnosti mashin. 2009. № 5. S. 71–81.
8. Jaber M., Miehe-Brenble J., Roux M. A new Al- Mg-organoclay // New J. Chem. 2000, pp. 1597-1600.
9. RD 31.55.01.06-94 «Zapasnye chasti. Toplivnaja apparatura sudovyh dizelej. Plunzhernye pary. Metodika proverki plotnosti».

УДК 656.61.052

## СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРО-ПРИВОДОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

**Богданов Андрей Геннадьевич**

Заместитель директора закрытого акционерного общества  
Центральный научно-исследовательский институт судового машиностроения  
192029, Санкт-Петербург, ул.Дудко, д.3,  
Тел. (812)6401-51, Факс: (812)640-10-52, E-mail: sudmssh@sudmash.ru

**Каминский Валерий Юрьевич,**

кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией  
Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко Российской Академии наук  
199178, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 12 линия, 13  
тел.: (812) 321-95-68, e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru

**Скороходов Дмитрий Алексеевич**

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  
тел. 8(812) 323-29-54, e-mail: info@iptran.ru

### Аннотация

Рассматривается принцип выбора оптимальных энергетических характеристик исполнительного привода системы управления движением судна.

Существующий алгоритм выбора завышает требования к характеристикам привода, способствует нерациональному расходу энергии, снижает коэффициент полезного действия и, как следствие, приводит к росту массогабаритных характеристик.

Авторами предложен метод изоляции энергетического канала, позволяющий оптимизировать жёсткость механической характеристики привода, которая определяется основным временем работы исполнительного привода в составе системы автоматического управления движением судна, находящегося под воздействием внешних волновых возмущений. В формулу для определения жесткости механической характеристики входят дисперсии параметров движения исполнительного органа, а также первая и вторая производные от параметров движения. Рассчитанная жесткость минимизирует энергетические характеристики при обеспечении качества стабилизации объекта и позволяет перейти к расчетам вероятностных энергетических характеристик исполнительного привода системы управления движением. При известной жесткости механической характеристики исполнительного привода по предложенным авторами формулам определяется дисперсия скорости холостого хода, максимальная мощность, пусковой момент, основные потребные характеристики исполнительного привода.

Использование предложенной методики позволяет выбрать исполнительные приводы систем управления движением, исключаящие поломку механических передач, заклинивание исполнительных органов в крайнем положении, что в итоге повышает безопасность эксплуатации судна.

**Ключевые слова:** дисперсия, жёсткость, привод, система, спектральная плотность, судно, энергия, энергетические характеристики.

## SYNTHESIS OF OPTIMAL ENERGY CHARACTERISTICS OF THE HYDRAULIC ACTUATORS OF THE MOTION CONTROL SYSTEM

**Bogdanov Andrey Gennadievich**

Deputy Director of the closed joint-stock company  
Central scientific research Institute of marine engineering  
192029, Saint-Petersburg, street Dudko, d. 3,  
phone: (812) 640-10-52, e-mail: sudmssh@sudmash.ru

**Kaminsky Valery Yurievich**

Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of the Laboratory,



Institute of Transport Problems after N.S. Solomenko of the Russian Academy of Sciences  
199178, Saint-Petersburg, Vasilevsky Ostrov, 12 line, h.13  
phone: (812) 321-95-68, e-mail: Kaminskyvy@yandex.ru

**Skorokhodov Dmitriy Alekseevich**

Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Chief Researcher Officer,  
Institute of Transport Problems after N.S. Solomenko of the Russian Academy of Sciences  
199178, Saint-Petersburg, Vasilevsky Ostrov, 12 line, h.13  
phone: 8(812) 323-29-54, e-mail: skorohodda@mail.ru

### Abstract

Discusses the principle of choosing the optimal energy characteristics of the actuator system controls movement of the vessel.

The existing selection algorithm overestimates the performance requirements of the actuator, contributes to the waste of power, reduces efficiency and, consequently, leads to increase in weight and size characteristics.

The authors proposed a method of isolation of the energy channel, allowing to optimize the rigidity of the mechanical characteristics of the actuator, which is determined by the primary operating time of actuator in the system of automatic control of ship motion under the action of external wave disturbances. The formula for determining the rigidity of the mechanical characteristics includes the variance of the motion parameters of the executive body and the first and second derivatives of the motion parameters. The calculated stiffness minimizes the energy characteristics while ensuring the quality of stabilization of the object and allows you to jump to the probabilistic calculations of the energy characteristics of the actuator motion control system. With the known stiffness of the mechanical characteristics of the actuator according to the proposed formula is determined by the variance of the idle speed, maximum power, starting torque, the basic required characteristics of the actuator.

Using the proposed method allows you to select the actuators of the motion control system, eliminating mechanical breakage of the gear, jamming of the Executive bodies in the extreme position, which ultimately increases the safety of operation of the vessel.

**Keywords:** dispersion, stiffness, drive, system, spectral density, vessel, energy, power characteristics.

### Введение

При выборе характеристик исполнительных приводов систем управления движением (СУД) различных судов нередко используется упрощенный алгоритм расчёта, исключающий энергетический расчёт привода, что не отвечает важности выполняемых приводом функций и не учитывает опыт проектирования систем автоматического управления самолетами и ракетами [1-5]. На практике это приводит к нерациональному расходу энергии, низкому коэффициенту полезного действия и повышенным весогабаритным характеристикам исполнительных приводов СУД. Пренебрежение энергетическим расчетом приводит к тому, что исполнительный привод работает большую часть времени со значительной недогрузкой, достигающей в некоторых случаях 75% номинальной мощности, что снижает коэффициент полезного действия. Анализ актуальных публикаций [6-11] подтверждает преимущественно упрощенный характер расчёта приводов, в результате которого завышаются требования по моменту нагрузки, что может приводить к поломке механических передач, заклиниванию исполнительных органов (ИО) в крайних положениях и, как следствие, к созданию аварийных ситуаций на судне. В то же время отметим, что в [12] указана важность энергетического расчёта, правда, применительно к электроприводу, работающему в случайных режимах.

Очевидно, что синтезированный алгоритм управления движением и соответствующее перемещение исполнительных органов управления должны быть обеспечены энергетически. Т.е., синтез системы нельзя считать законченным, если не выполнена энергетическая оценка процессов, так как динамические свойства и конструктивные параметры системы управления в значительной мере определяются параметрами и характеристиками исполнительного привода [13].

Энергетическая оценка направлена на поиск таких характеристик и параметров исполнительного привода, при которых достигается минимальный расход энергии с обеспечением требуемых динамических свойств системы управления, а также точности стабилизации ИО по минимуму среднеквадратической ошибки. Поэтому энергетический расчёт должен стать составной частью исследования системы управления движением на всех этапах проектирования.

### 1. Принцип изоляции энергетического канала

Исполнительный привод СУД должен обеспечить необходимые параметры движения ИО для получения требуемого качества стабилизации судна в пространстве в соответствии с выбранными законами управления. Для этого требуется оценить энергетические характеристики исполнительного органа при статистической нагрузке на валу. Минимизация среднеквадра-

тической ошибки стабилизации параметров движения судна предусматривает нахождение оптимальной передаточной функции СУД. Считаем, что законы управления СУД, установленные для данной системы, обеспечивают требуемое качество стабилизации судна. Тогда принимаем среднеквадратическую ошибку стабилизации известной и неизменной. Это допущение позволяет упростить задачу статистической оптимизации системы и рассматривать только вторую часть СУД - исполнительный привод. Таким образом, исполнительный привод и объект управления изучаются отдельно от устройства, формирующего законы управления.

Последовательность элементов, составляющих исполнительный привод, образует энергетический канал, по которому энергия преобразуется и передается от внешнего источника к ИО. Поэтому основной характеристикой исполнительного привода является способность этого канала пропустить определенное количество энергии в единицу времени, т.е. его энергетическая пропускная способность. При таком подходе очевидным является стремление обеспечить объекту управления (судну) требуемые маневренные возможности посредством исполнительного привода с оптимальными характеристиками. Появляется возможность "изоляции" исполнительного привода от СУД.

Рассмотрим основные положения принципа изоляции энергетического канала.

Схема замкнутой системы управления движением включает в себя регулятор и объект управления. Регулятор, состоит из двух основных частей: исполнительного привода и устройства, формирующего законы управления системы автоматической стабилизации (УФЗУ).

Полагаем, что УФЗУ позволяет осуществить любой закон управления в пределах ограничений, присущих исполнительному приводу, и обеспечивает требуемое качество управления объектом в пространстве. Исходим из того, что требуемый закон управления движением судна реализуется. Тогда рассмотрим исполнительный привод, как изолированный от остальных элементов регулятора (системы управления) энергетический канал. Под действием возмущений объект управления совершает вынужденные колебания параметров движения. Аналогичные колебания, но противоположно направленные должны сообщить объекту исполнительные органы, приводимые в движение исполнительным приводом, что в реальных условиях обеспечит минимальную среднеквадратическую ошибку стабилизации. В идеальном случае ошибка стабилизации равна нулю.

Так как внешние возмущения носят случайный характер, то в идеальном случае для обеспечения ошибки стабилизации равной нулю можно сформулировать это условие тождественным равенством спектральных плотностей, если рассматривать линеаризованные уравнения движения судна, следующим образом:

$$S_{x_i}^{y_k}(\omega) \equiv S_{x_i}^{f_r}(\omega), \quad (1)$$

где:  $S_{x_i}^{y_k}(\omega)$  - спектральная плотность параметров движения судна под воздействием исполнительных органов;

$S_{x_i}^{f_r}(\omega)$  - спектральная плотность параметров движения судна под воздействием внешних возмущений;

$x_i$  - параметры стабилизации судна;

$f_r$  - внешние возмущения;

$y_k$  - параметры движения ИО (закрылков, рулей и т.п.);

$\omega$  - частота внешних возмущений.

Известно, что тогда спектральная плотность параметров движения судна может быть определена по формуле:

$$S_{x_i}^{f_r}(\omega) = \sum_{r=1}^z |h_{x_i}^{f_r}(j\omega)|^2 S_{f_r}(\omega), \quad (2)$$

где:  $S_{f_r}(\omega)$  - спектральная плотность внешнего возмущения;

$|h_{x_i}^{f_r}(j\omega)|$  - модуль передаточной функции внешнего возмущения по параметру движения судна;

$z$  - количество внешних возмущений.

Для системы «объект-привод» входным воздействием являются параметры движения объекта. Поскольку уравнения движения объекта известны, существует возможность дальнейшего упрощения системы уравнений с целью оптимизации энергетических характеристик исполнительного привода СУД.

Система уравнений приводится к виду, удобному для синтеза энергетических характеристик исполнительного привода.

$$S_{y_k}^{x_i}(\omega) = \frac{\sum_{r=1}^z |h_{x_i}^{f_r}(j\omega)|^2}{\sum_{k=1}^m |b_{x_i}^{y_k}(j\omega)|^2} S_{f_r}(\omega), \quad (3)$$

где:  $|h_{x_i}^{f_r}(j\omega)|^2$  - квадрат модуля передаточной функции параметра движения судна по возмущению;

$|b_{x_i}^{y_k}(j\omega)|^2$  - квадрат модуля передаточной функции параметра движения судна по ИО;

$m$  - количество ИО.

Таким образом, получены спектральные плот-

ности параметров движения ИО, которые обеспечивают требуемое качество стабилизации судна по параметрам его движения. Внешним возмущением для системы «исполнительный орган – исполнительный привод» являются статистические характеристики параметров движения ИО, а выходным параметром - момент нагрузки исполнительного привода (ИП) и его мощность.

**9. Критерий оптимальности энергетических характеристик системы автоматического управления**

Сформулируем задачу определения оптимальных параметров исполнительного привода, структурная схема которого известна.

Требуется определить параметры ИП, отвечающие принятому критерию оптимальности. Исходя из условия обеспечения системой управления движением требуемого качества стабилизации судна, критерием оптимальности энергетических характеристик будем считать минимум мощности исполнительного привода, что означает минимизацию мощности системы. Это требование может быть обеспечено при минимизации механической характеристики ИП, т.к. данное допущение предопределяет минимизацию по нагрузке, по структуре и в конечном итоге приводит к минимизации мощности исполнительного привода.

Исполнительный привод системы управления характеризуется законом движения ИО  $y_k(t)$  который представляет собой в соответствии с (3) стационарный случайный процесс, с известной спектральной плотностью  $S_{y_k}^{x_i}(\omega)$ . Выразим величины дисперсии мощности заданного процесса движения через параметры исполнительного привода и статистические характеристики закона движения ИО.

Мгновенное значение изменения механической мощности на валу исполнительного привода записывается в виде:

$$N_k(t) = \dot{y}_k(t) M_{нк}(t), \tag{4}$$

где:  $\dot{y}_k(t)$  – закон изменения скорости движения исполнительного органа со спектральной плотностью  $S_{y_k}^{x_i}(\omega)$ ;  
 - закон изменения момента нагрузки на валу исполнительного органа со спектральной плотностью .

Поскольку закон изменения скорости движения исполнительного органа определяет и закон изменения момента нагрузки, то мощность испол-

нительного привода  $N_i$  может быть представлена через стационарный случайный процесс  $S_{y_k}^{x_i}(\omega)$ . При этом условии дисперсия процесса изменения мощности исполнительного привода  $N_i$  постоянна во времени и, следовательно, может служить мерой его нагрузки в рассматриваемом режиме работы. Если функции  $M_{нк}(t)$  и  $\dot{y}_k(t)$  не коррелированы, то среднеквадратическую мощность можно определить по формуле

$$N_{ck} = \sqrt{D_{M_{нк}(t)} D_{\dot{y}_k(t)}}, \tag{5}$$

где:  $D_{M_{нк}(t)}$  - дисперсия момента нагрузки

ИО;

$D_{\dot{y}_k(t)}$  - дисперсия скорости движения ИО.

Однако среднеквадратическая мощность не может служить основой для выбора исполнительного привода системы автоматического управления, так как при эксплуатации системы действительная мощность может превышать среднеквадратическое значение. Для исполнительного привода системы автоматического управления расчетной является максимальная мощность  $N_{max}$ .

Для прямолинейной механической характеристики исполнительного привода можно получить

$$N_{max} = \frac{M_n \dot{y}_0(t)}{4}, \tag{6}$$

где:  $M_n$  – пусковой момент исполнительного привода, который можно определить следующим образом:

$$M_n = \beta \dot{y}_0(t); \tag{7}$$

$\dot{y}_0(t)$  - скорость холостого хода ИП;

$\beta_k$  - жесткость механической характеристики исполнительного привода.

Откуда:

$$\beta_k = \frac{M_{нк}}{\dot{y}_0(t)}. \quad (8)$$

В этом случае формула для максимальной мощности привода, механическая характеристика которой выражается прямой линией, имеет вид:

$$N_{\max} = \frac{\beta \cdot \dot{y}_0^2(t)}{4}. \quad (9)$$

Рассмотрим уравнение прямолинейной механической характеристики, выразив его через уравнение Лапласа:

$$py_k = py_{0k} - \frac{1}{\beta_k} M_{нк}(p) \quad (10)$$

Запишем уравнение движения гидропривода:

$$py_k = py_{0k} - \frac{1}{\beta_k} J_k p^2 + \left( \frac{M_k^y}{\beta_k} + 1 \right) \cdot p + M_k^\alpha$$

где:  $J_k$  - момент инерции ИО;

$M_k^y$  - демпфирующий момент ИО;

$M_k^\alpha$  - шарнирный момент ИО.

Из этого уравнения найдем скорость холостого хода исполнительного привода:

$$py_{0k} = py_k + \frac{1}{\beta_k} J_k p^2 + \left( \frac{M_k^y}{\beta_k} + 1 \right) \cdot p + \frac{M_k^\alpha}{\beta_k}. \quad (11)$$

Обозначим:  $p + \frac{1}{\beta_k} M_{нк}(p) = W(p)$ .

Дисперсия установившейся скорости холостого хода  $D_{py_{0k}}(\omega)$  может быть определена в этом случае с помощью соотношений:

$$S_{\dot{y}_{0k}}(\omega) = |W(j\omega)|^2 S_{y_k}(\omega); \quad (12)$$

$$D_{py_{0k}}(\omega) = 2 \int_0^{\omega_m} |W(j\omega)|^2 S_{y_k}(\omega) d\omega,$$

где:  $|W(j\omega)|^2$  - квадрат модуля переда-

точной функции, имеющий следующий вид:

$$\frac{1}{\beta_k^2} J_k^2 \omega^4 + \frac{1}{\beta_k^2} \left[ (M_k^y)^2 + 2J_k \cdot M_k^\alpha \right] \cdot \omega^2 + \frac{1}{\beta_k^2} (M_k^\alpha)^2 \quad (13)$$

При аппроксимации механической характеристики прямой линией максимальная потребляемая мощность на валу ИО может быть определена по формуле:

$$N_{\max} = \beta \frac{D_{y_{0k}}(t)}{4}. \quad (14)$$

Поскольку для положительных вещественных значений  $\beta_k$  решение имеет единственный экстремум, то оптимальное значение жесткости механической характеристики находится из уравнения:

$$\frac{\partial N_{\max}}{\partial \beta_k} = 0. \quad (15)$$

Для выполнения условия (15) необходимо, чтобы дисперсия скорости холостого хода была равна следующему соотношению:

$$D_{y_{0k}}(t) = \frac{1}{\beta_k^2} J_k^2 \omega^4 \cdot S_{y_k}(\omega) + \frac{1}{\beta_k^2} \left[ (M_k^y)^2 + 2J_k \cdot M_k^\alpha \right] \cdot \omega^2 \cdot S_{y_k}(\omega) + \frac{1}{\beta_k^2} (M_k^\alpha)^2 \cdot S_{y_k}(\omega), \quad (16)$$

или:

$$D_{y_{0k}}(t) = \frac{1}{\beta_k^2} J_k^2 D_{y_k}(t) + \frac{1}{\beta_k^2} \left[ (M_k^y)^2 + 2J_k \cdot M_k^\alpha \right] \cdot D_{y_k}(t) + \frac{1}{\beta_k^2} (M_k^\alpha)^2 \cdot D_{y_k}(t), \quad (17)$$

где:  $D_{\ddot{y}_k}(t)$  - дисперсия ускорения ИО;

$D_{\dot{y}_k}(t)$  - дисперсия скорости ИО;

$D_{y_k}(t)$  - дисперсия угла отклонения ИО.

Тогда оптимальная жёсткость механической характеристики будет равна

$$\beta_k = \sqrt{\frac{J_k^2 \ddot{y}_k(t) + \left[ (M_k^y)^2 + 2J_k \cdot M_k^\alpha \right] \times \ddot{y}_k(t) + (M_k^\alpha)^2 \cdot D_{y_k}(t)}{D_{y_{ок}}(t)}} \quad (18)$$

### Заключение

В формулу для определения оптимальной жесткости механической характеристики (18) входят дисперсии параметров движения исполнительного органа, а также первая и вторая производные от параметров движения. Полученная жесткость минимизирует энергетические характеристики при обеспечении качества стабилизации объекта и позволяет перейти к расчетам энер-

гетических характеристик гидропривода ИО системы управления движением.

При известной жесткости механической характеристики могут быть определены дисперсия скорости холостого хода, максимальная мощность, пусковой момент исполнительного привода, и построены его основные потребные характеристики.

### Литература

1. Alex E. Ockfen, Konstantin I. Matveev, Aerodynamic characteristics of NACA 4412 airfoil section with flap in extreme ground effect, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V.1, Issue 1, September 2009, P. 1-12.
2. Roberto Muscia, Giacomo Sciuto, Analytic study of a new conceptual propulsion device for ships, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 2, Issue 2, June 2010, P. 75-86.
3. Jung-Hun Kim, Jung-Eun Choi, Bong-Jun Choi, Seok-Ho Chung, Twisted rudder for reducing fuel-oil consumption, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V 6, Issue 3, September 2014, P. 715-722.
4. Christopher S. Chaney, Konstantin I. Matveev, Modeling of steady motion and vertical-plane dynamics of a tunnel hull, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V 6, Issue 2, June 2014, P. 323-332.
5. Seung-Jae Lee, Jun-Hyeok Lee, Jung-Chun Suh, Further validation of the hybrid particle-mesh method for vortex shedding flow simulations, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V 7, Issue 6, November 2015, P. 1034-1043.
6. Zaopeng Dong, Lei Wan, Yueming Li, Tao Liu, Guocheng Zhang, Trajectory tracking control of underactuated USV based on modified backstepping approach, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V 7, Issue 5, September 2015, P. 817-832.
7. Konstantin I. Matveev, Hydrodynamic modeling of semi-planing hulls with air cavities, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 7, Issue 3, May 2015, P. 500-508.
8. Wei Yang, Zhigang Yang, Maurizio Collu, Longitudinal static stability requirements for wing in ground effect vehicle, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 7, Issue 2, March 2015, P. 259-269, ISSN 2092-6782.
9. Sung-Soo Kim, Soon-Dong Kim, Donghoon Kang, JongHyun Lee, Seung Jae Lee, Kwang Hyo Jung, Study on variation in ship's forward speed under regular waves depending on rudder controller, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 7, Issue 2, March 2015, P. 364-374.
10. Omer Kemal Kinaci, A numerical parametric study on hydrofoil interaction in tandem, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 7, Issue 1, January 2015, P. 25-40.
11. Qing Jia, Wei Yang, Zhigang Yang, Numerical study on aerodynamics of banked wing in ground effect, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 8, Issue 2, March 2016, P. 209-217.
12. Ратнер Н.И. Расчёт электроприводов в случайных режимах. - Л.: Энергия, 1969. - 127 с.
13. Скорыходов Д.А. Системы управления движением кораблей с динамическими принципами поддержания / Спб: ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор». 2000. 282 с.

### References

1. Alex E. Ockfen, Konstantin I. Matveev, Aerodynamic characteristics of NACA 4412 airfoil section with flap in extreme ground effect, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V.1, Issue 1, September 2009, P. 1-12.
2. Roberto Muscia, Giacomo Sciuto, Analytic study of a new conceptual propulsion device for ships, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 2, Issue 2, June 2010, P. 75-86.
3. Jung-Hun Kim, Jung-Eun Choi, Bong-Jun Choi, Seok-Ho Chung, Twisted rudder for reducing fuel-oil consumption, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V 6, Issue 3, September 2014, P. 715-722.
4. Christopher S. Chaney, Konstantin I. Matveev, Modeling of steady motion and vertical-plane dynamics of a tunnel hull, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V 6, Issue 2, June 2014, P. 323-332.

5. Seung-Jae Lee, Jun-Hyeok Lee, Jung-Chun Suh, Further validation of the hybrid particle-mesh method for vortex shedding flow simulations, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V 7, Issue 6, November 2015, P. 1034-1043.
6. Zaopeng Dong, Lei Wan, Yueming Li, Tao Liu, Guocheng Zhang, Trajectory tracking control of underactuated USV based on modified backstepping approach, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V 7, Issue 5, September 2015, P. 817-832.
7. Konstantin I. Matveev, Hydrodynamic modeling of semi-planing hulls with air cavities, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 7, Issue 3, May 2015, P. 500-508.
8. Wei Yang, Zhigang Yang, Maurizio Collu, Longitudinal static stability requirements for wing in ground effect vehicle, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 7, Issue 2, March 2015, P. 259-269, ISSN 2092-6782.
9. Sung-Soo Kim, Soon-Dong Kim, Donghoon Kang, JongHyun Lee, Seung Jae Lee, Kwang Hyo Jung, Study on variation in ship's forward speed under regular waves depending on rudder controller, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 7, Issue 2, March 2015, P. 364-374.
10. Omer Kemal Kinaci, A numerical parametric study on hydrofoil interaction in tandem, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 7, Issue 1, January 2015, P. 25-40.
11. Qing Jia, Wei Yang, Zhigang Yang, Numerical study on aerodynamics of banked wing in ground effect, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, V. 8, Issue 2, March 2016, P. 209-217.
12. Ratner N.I. Raschjot jelektrivodov v sluchajnyh rezhimah [Calculation of electric drives in random modes]. L. Jenergija, 1969. 127 p.
13. Skorohodov D. A. Sistemy upravlenija dvizheniem korablej s dinamicheskimi principami podderzhanija [The traffic management system ships with dynamic principles of maintenance] / Spb: GNC RF – CNII «Jelektropribor». 2000. 282 p.

**УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

УДК 004.75+ 004.658.3

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ****Малыгин Игорь Геннадьевич**

доктор технических наук, профессор, директор  
ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук  
199178, Санкт-Петербург, В.О., 12 линия, д. 13,  
e-mail: [malygin\\_com@mail.ru](mailto:malygin_com@mail.ru)

**Комашинский Владимир Ильи**

доктор технических наук, доцент; заместитель директора по научной работе  
ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук  
199178, Санкт-Петербург, В.О., 12 линия, д. 13,  
e-mail: [kama54@rambler.ru](mailto:kama54@rambler.ru)

**Асаул Максим Анатольевич**

доктор экономических наук, заместитель директора Департамента транспорта и инфраструктуры Евразийской экономической комиссии. 115114, г. Москва, ул. Летниковская, д. 2, стр. 1, стр. 2.  
e-mail: [asaul@eecommission.org](mailto:asaul@eecommission.org)

**Аннотация**

В статье рассмотрены основные черты новой компьютерной технологии в сфере водного транспорта. Показан комплекс перемен затрагивающих транспортную индустрию (судостроение), транспортные средства (автономные и роботизированные суда), портовое хозяйство и водные магистрали. Отмечается, что ключевой технологической платформой являются информационно-управляющие системы водного транспорта, интегрированные с технологиями искусственного интеллекта. Интеллектуализация водного транспорта позволит оптимизировать потребление топлива и энергетических ресурсов, более эффективно использовать суда для перевозки пассажиров и грузов, более точно прогнозировать погодные условия и осуществлять эффективную погодную маршрутизацию. Предложены новые функции интеллектуальных портов, рассмотрены основные элементы бортовой интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы. Показана ведущая роль новых информационно-телекоммуникационных технологий и технологий искусственного интеллекта в формировании национальной (и международной) интеллектуальной системы водного (и мультимодального) транспорта в период 4-й индустриальной революции.

**Ключевые слова:** водный транспорт, четвертая индустриальная революция, информационно-управляющие системы, искусственный интеллект, системы связи, информационно-телекоммуникационная система

**Malygin Igor Gennadevich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences.  
Address 13, 12-th Line VO, St.Petersburg, 199178, Russian Federation.  
e-mail: [malygin\\_com@mail.ru](mailto:malygin_com@mail.ru)

**Komashinskiy Vladimir Ilich**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Science of the Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences.  
Address: 13, 12-th Line VO, St.Petersburg, 199178, Russian Federation.  
t-mail: [kama54@rambler.ru](mailto:kama54@rambler.ru)

**Asaul Maxim Anatolevich**

Doctor of Economic Sciences, Deputy Director of Department of Transport and Infrastructure of the Euroasian Economic Commission. Address: 2, Letnikovskaya Str., bld.1/2, Moscow, 115114, Russian Federation. E-mail: [asaul@eecommission.org](mailto:asaul@eecommission.org)

**Abstract**

The article considers the main features of the new computer technology in the field of water transport. The complex of changes affecting the transport industry (shipbuilding), vehicles (autonomous and robotic vessels), port facilities and waterways are shown. It is noted that the key technological platform for the new industrial revolution is the information and control systems of water transport integrated with the technologies of artificial intelligence. The intellectualization of water transport will allow optimizing fuel and energy consumption, more efficient use of vessels for passenger and cargo transportation, more accurate forecasting of weather conditions and effective weather routing. New functions of intelligent ports are offered, the basic elements of the on-board intellectual information-telecommunication system are considered. The leading role of new information and telecommunication technologies

and artificial intelligence technologies in the formation of the national (and international) intellectual system of water (and multimodal) transport during the 4th industrial revolution is shown.

**Keywords:** water transport, the new computer technology, information-control systems, artificial intelligence, communication systems, information-telecommunication system

### Введение

Водный транспорт был и остается ключевым элементом Мировой экономической системы [1]. Объемы морских и речных перевозок постоянно возрастают, требования к качеству перевозок грузов водным транспортом (своевременность, безопасность, надежность) повышаются.

Современные водные транспортные системы включают транспортные средства (пассажирские суда, контейнеровозы, сухогрузы, наливные суда и др.) водные транспортные магистрали, а также морские (и речные) порты. Очевидно, что совершенствование инфраструктур водного транспорта является важным фактором ускоренного развития национальной и международной экономик [2].

#### 1. Эволюция индустриальных технологий водного транспорта

Анализируя процессы развития технологий построения водных транспортных средств и транспортных магистралей, трудно не заметить положительную корреляцию с траекторией развития индустриальных технологий в целом [3, 4].

Особенностью наступающей индустриальной революции на транспорте является усиление акцента на технологиях получения знаний и их применения посредством специальных технических систем, получивших название искусственных когнитивных технических систем [5, 6, 7].

Применительно к сфере водного транспорта, новые технологии проявляются в дальнейшей его информатизации, в разработке и создания автономных (роботизированных) надводных и подводных транспортных средств и интеллектуализации водных магистралей. Успешное проведение четвертой индустриальной революции в сфере водного транспорта предполагает успешное решение комплекса взаимосвязанных задач по построению интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы водного транспорта (ИТС ВТ). Создание ИТС ВТ формирует условия для обеспечения сквозного управления жизненным циклом водного транспорта, начиная от его проектирования и заканчивая утилизацией.

Управление жизненным циклом водного транспорта предусматривает сетевое взаимодействие всех его элементов (интеллектуальных производственных предприятий (верфей), интеллектуальных (морских и речных) судов, «умных» водных магистралей и интеллектуальных систем обслуживания судов). Управление жизненным циклом, в конечном итоге, способствует увеличению производительности водно-

го транспорта и поддерживает «самовоспроизводящийся цикл повышения стоимости».

#### 2. Основные составные части интеллектуальной системы водного транспорта

Интеллектуализация системы водного транспорта предполагает проведение комплекса взаимосвязанных мероприятий (НИР, ОКР, модернизацию судов и судостроительного производства), направленных на широкое применение новых информационных технологий, искусственного интеллекта и робототехники в надводном (и подводном) торговом (и военном) флоте, в морских и речных портах, в отраслевых информационно-телекоммуникационных системах, а также в национальной (и международной) интегрированной интеллектуальной транспортной системе в целом.

Интеллектуализация водного транспорта открывает широкие возможности по оптимизации использования топлива и энергетических ресурсов, более эффективному использованию судов для перевозки пассажиров и грузов, более точного прогнозирования погоды и осуществлению эффективной погодной маршрутизации. Повышение степени интеллектуализации систем водного транспорта, использование интеллектуальных датчиков и глобальных беспроводных высокоскоростных сетей передачи данных между судном и берегом будет способствовать использованию систем дистанционного управления, а также поддержанию полностью или частично автономной работы судов. Непрерывное и надежное взаимодействие между транспортными системами морского базирования и береговыми центрами управления позволит усилить поддержку и контроль со стороны берега. Все это одновременно потребует применения новых подходов для обеспечения безопасности информационно-телекоммуникационной инфраструктуры водного транспорта от кибер-атак.

Таким образом, основными целями интеллектуализации морского транспорта являются:

- повышение эффективности и качества работы портов, логистической инфраструктуры, системы транспортировки пассажиров и грузов;
- управление и совершенствование береговой инфраструктуры;
- улучшение условий труда экипажа, требований охраны здоровья и безопасности на борту;
- усовершенствование системы безопасности судоходства;
- улучшение качества мониторинга морских трасс и прибрежных зон;
- повышение энергоэффективности судов;



- улучшение качества услуг, предоставляемых водным транспортом по перевозке пассажиров и грузов;

- более высокая автономность судов;
- более эффективная работа интегрированных логистических цепочек (трансмодальных и мультимодальных) перевозок.

В процессе модернизации водного транспорта объектами интеллектуализации становятся суда, ИТ-инфраструктура, порты и мультимодальные шлюзы.

Предусматривается, что интеллектуальный и автономный водный транспорт будет «интеллектуально» взаимодействовать не только с водным пространством, но и с другими водными транспортными средствами и интеллектуальными морскими (и речными) портами (рис. 5). Интеллектуализация и роботизация водного транспорта предусматривает всестороннее обеспечение мониторинга состояния судов и внешней среды в режиме реального времени, осуществление управления судном в дистанционном или автономном режимах.

Надежные беспроводные сети передачи данных, системы управления данными (датчиками), информацией и знаниями приобретают важное значение для обеспечения надежной и качественной эксплуатации судна, кроме того многие новые системы водного транспорта требуют обеспечения надежной информационно-сетевой защиты.

Цифровые водные магистрали, включают в себя не только сети беспроводной (и проводной) связи между судами и портами, но также и сети датчиков (бортовых, береговых, надводных и подводных), которые обеспечивают необходимыми данными судовые и береговые интеллектуальные информационно-телекоммуникационные системы.

Основу цифровых беспроводных магистралей составляют сети спутниковой связи и навигации, а сети дальней коротковолновой (КВ) радиосвязи выполняют задачи резервирования сетей спутниковой связи и функции оповещения о чрезвычайных ситуациях; системы ультракоротковолновой (УКВ) радиосвязи и сотовой связи широко используется для обмена информацией экипажа судна и взаимодействия с береговыми службами в портах.

Интеллектуальные порты (морские и речные), формируются в результате цифровизации и роботизации портовой инфраструктуры (на основе применения внутренних сетей передачи данных, специальных сетей датчиков и исполнительных устройств), портовых информационно-управляющих и интеллектуальных систем. Умные порты взаимодействуют с информационными системами судов и других (национальных и зарубежных) портов, создают условия для предоставления (совместно с торговыми порталами) услуг по принципу «одного окна» в интересах повышения эффективности управления морским транспортом и морскими перевозками и качества водных транспортных услуг.

Интеллектуальные порты, интегрированные с системами навигации, береговыми сетями, судовыми информационно-телекоммуникационными системами, сетями (надводных и подводных) датчиков (рис. 1) и т.п., образуют информационно-телекоммуникационную систему водного транспорта (ИТС ВТ), обеспечивающую функционирование всех его составных частей как единой системы.

Портовая интеллектуальная информационно-телекоммуникационная система (ИИТС) включает: центр автоматизированного управления, подсистему интеллектуального анализа и отображения данных и информации, сети портовых датчиков и исполнительных устройств, и др. подсистемы. Портовые подсистемы интегрируются с помощью проводных и беспроводных местных сетей доступа [8] с инфраструктурными элементами магистральной интеллектуальной мультимодальной транспортной системы (ИМТС).

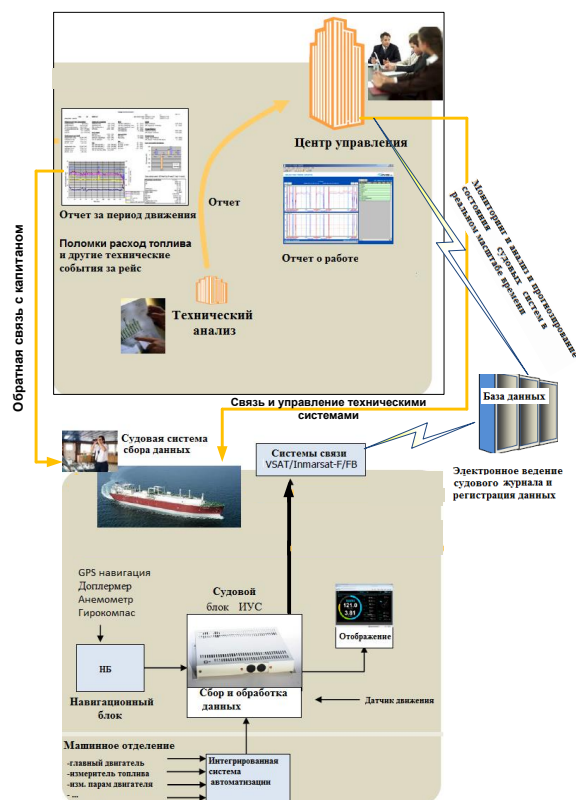


Рис. 1. Основные составные части интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы водного транспорта

ИТС ВТ строится как открытая система (рис. 1-2) на основе стандартных стеков сетевых протоколов, стандартных интерфейсов (в т.ч. и с бортовым оборудованием) и открытых прикладных программных интерфейсов (API).

Бортовая ИИТС может состоять из сети датчиков и исполнительных устройств, подсистемы обработки и отображения данных, навигационной системы, бортового искусственного интеллекта и др. подсистем. Судовые подсистемы

интегрируются с помощью гибридной (проводно-беспроводной) судовой локальной сети. Бортовые беспроводные сети обеспечивают мобильное взаимодействие между членами экипажа (P2P), между экипажем и техническими устройствами (P2M), а также между бортовыми (M2M) и внешними инфраструктурными техническими системами (M2I).

В ближайшее время на ИТС ВТ могут быть возложено решение таких проблем как безопасность портов и охрана окружающей среды, в том числе уменьшение уровня шума порта и эффективного использования энергии. Решение проблем реализации концепции «зеленых» портов, также могут возлагаться на ИТС ВТ вместе с вопросами охраны морской среды, глобального изменения климата и повышение уровня моря.

Эффективное функционирование ИТС ВТ в рамках интегрированной интеллектуальной мультимодальной транспортной системы (ИМТС) предполагает использование технологий открытых систем, обеспечивающих прозрачное взаимодействие различных транспортных мод (железнодорожной, авиационной, автомобильной и водной), а также стандартизацию аппаратных и программных интерфейсов ИМТС. Одной из задач, решаемых ИМТС, является ведение морской электронной базы данных (баз знаний) и предоставление их через WEB-порталы в интересах эффективного решения задач модальной (и мультимодальной) логистики и таможенного обслуживания.

Развитие ИТС ВТ (в рамках ИМТС) является важным условием эффективного взаимодействия и интеграции между различными видами (модами) транспорта, благодаря использованию общих эталонных моделей модальных ИТС, общей системы электронной таможни, стандартов на оцифровку транспортных документов и широкого использования электронной транспортной документации. Кроме того, в рамках ИМТС обеспечивается открытый, надежный и прозрачный доступ к транспортной и торговой информации, что позволит сформировать новые более эффективные бизнес-модели и оптимизировать транспортные и торговые системы.

### 3. Механизм инновационного развития водного транспорта

Инновационный механизм развития водного транспорта включает (рис. 3) подсистему формирования отдельных инноваций, подсистему контекстной комбинации отдельных инноваций и системны инновации флота.

Отдельные инновации представляют собой продукты, касающиеся отдельных ключевых технологий (например, радары, видеокамеры, различные микродатчики) и которые могут интегрироваться в комбинированную контекстную инновацию (подсистему датчиков). Инновационные продукты других типов, например, искусственного интеллекта и когнитивных технологий, интегрируются в инновационную интеллектуальную подсистему и составляют другой тип

комбинации, и т.д. Из блоков комбинированных инноваций (подсистем) формируется инновационная система, например, такая как автономное судно.

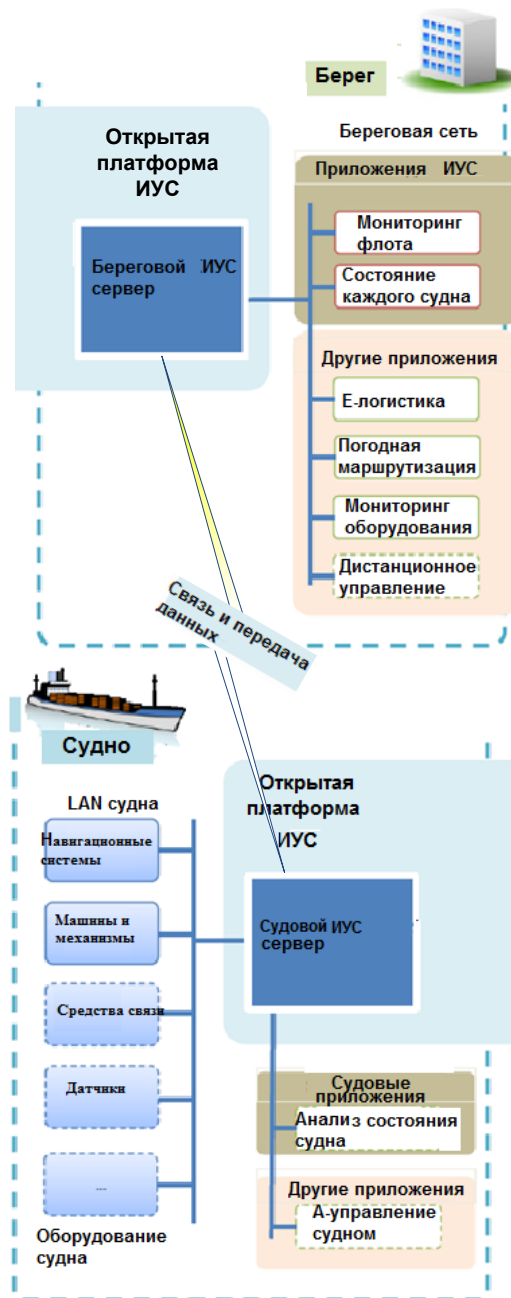


Рис. 2. Основные элементы бортовой интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы

На бортовую (судовую) информационно-управляющую систему (ИУС) могут возлагаться решение таких задач, как автономное причаливание, динамическая погодная маршрутизация, предупреждение аварийных столкновений судов, автономный докинг и др.

Подсистемы инновационного механизма приводят в движение окружающие их и взаимно влияющие друг на друга технологические и социальные изменения, которые имеют циклический характер и включены в общий контур развития с новыми технологическими возможно-

стями и новыми идеями. При этом под воздействием новых технологических возможностей происходят социальные изменения, меняющие социальный ландшафт, который генерирует

### Заключение

В статье рассмотрены особенности проявления новых компьютерных технологий в сфере водного транспорта. Показаны технологические изменения, которые уже происходят или будут происходить на водном транспорте в ближайшем будущем. Отмечена ведущая роль новых информационно-телекоммуникационных технологий и технологий искусственного интеллекта в формировании национальной (и международной) интеллектуальной системы водного (и мультимодального) транспорта. Сделан вывод о том, что в других транспортных сферах (авиастроении, автомобилестроении, ракетостроении и т.д.), будут в той или иной степени сохраняться отмеченные проявления (с характерными для каждой сферы особенностями).

новые потребности и новые идеи, формирующие начало следующего цикла технологического развития.

Также подчеркивается, что ключевой технологической платформой для новой информационной технологии (не зависимо от сфер ее приложения) продолжают оставаться промышленные информационно-сетевые технологии интегрированные (точнее, конвергированные) с новейшими технологиями индустриального искусственного интеллекта. Еще одним важным условием успешного проведения новой компьютерной технологии в сфере транспорта является подготовка специалистов-профессионалов, способных разрабатывать и создавать интеллектуальный транспорт и его инфраструктуру, а также поддерживать их эффективное функционирование и дальнейшее развитие.

### Литература

1. Pipitsoulis, C. The EU eMaritime initiative – Single Window, with a view to the near future. In *Logious Conference*. Rotterdam. 2010.
2. Buchari, Erika et al. Enhancing Public Transport System in Developing Countries towards Multimodal Public Transport System. Proceedings of the Conference on The Intelligent Public Transport System, April 2-4, 2008. Netherland.
3. Bauer J., Schlund P., Marrenbach D., Ganschar O. Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, Berlin 2014. P. 5-30.
4. Bauernhansl T., Hompel M., Vogel-Heuser B., Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologie, Migration, Wiesbaden 2014. P. 12- 17.
5. Mertens P. (2015), Industrie 4.0 – Herausforderungen auch an Rechnungswesen und Controlling im Überblick, in: *Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmensteuerung*, 27. Jg. (2015), H. 8/9., o. p. P. 27-29.
6. Комашинский В.И., Комашинский Д.В. Когнитивная метафора в развитии телекоммуникационных и промышленных сетевых инфраструктур, или первые шаги к постинформационной эпохе // Журнал «Технологии и средства связи». 2015. № 1. С. 62-67.
7. Малыгин И.Г., Комашинский В.И. Некоторые проблемы построения когнитивных транспортных систем и сетей // Труды международной конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы – 2015 год». Том.1. С. 3-8.
8. Industrie 4.0 Controlling in the Age of Intelligent Networks. <https://www.icv.controlling.com/fileadmin/Assets/Content/AK/Ideenwerkstatt/Files/Dream Car Industrie 4.0 EN.pdf>.

### References

1. Pipitsoulis C. The EU eMaritime initiative – Single Window, with a view to the near future. In *Logious Conference*. Rotterdam. 2010.
2. Buchari Erika et al. Enhancing Public Transport System in Developing Countries towards Multimodal Public Transport System. Proceedings of the Conference on The Intelligent Public Transport System, April 2-4, 2008 Netherland.
3. Bauer J., Schlund P., Marrenbach D., Ganschar O. Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, Berlin 2014. P. 5-30.
4. Bauernhansl T., Hompel M., Vogel-Heuser B., Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologie, Migration, Wiesbaden 2014. P. 12- 17.
5. Mertens P. (2015), Industrie 4.0 – Herausforderungen auch an Rechnungswesen und Controlling im Überblick, in: *Controlling – Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmensteuerung*, 27. Jg. (2015), H. 8/9., o. p. P. 27-29.
6. Komashinskiy V.I., Komashinskiy D.V. Kognitivnaya metafora v razvitii telekommunikatsionnykh i industrial'nykh setey infrastruktura, ili pervyye shagi k postinformatsionnoy epokhe Zhurnal «Tekhnologii i sredstva svyazi». № 1. S. 62-67.
7. Malygin I.G., Komashinskiy V.I. Nekotoryye problemy postroyeniya kognitivnykh transportnykh sistem i setey. Trudy mezhdunarodnoy konferentsii «Transport Rossii: problemy i perspektivy - 2015 god» Tom.1. S. 3-8.
8. Industrie 4.0 Controlling in the Age of Intelligent Networks <https://www.icv.controlling.com/fileadmin/Assets/Content/AK/Ideenwerkstatt/Files/Dream Car Industrie 4.0 EN.pdf>.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 629.12.001.2

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНО - ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ВЕРФИ ПРИ СОЗДАНИИ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

**Александр Евгеньевич Богданов**

заместитель генерального директора ЗАО «ЦБР «Галактика»,  
кандидат технических наук, 196066, Санкт – Петербург, Московский пр. 212,  
Тел. (812) 327-27-70, 643-02-61; e-mail: [bogdanov@cbr-galaktika.ru](mailto:bogdanov@cbr-galaktika.ru)

#### Аннотация

В судостроении процессы управления материально - техническим обеспечением (МТО) имеют особую роль. Приведена схема базовых процессов управления материально – техническим обеспечением верфи над использованием материальных ресурсов, которая является основой построения организации функций службы снабжения и других подразделений предприятия, отвечающих за расходование и учет материальных ценностей. Отражена последовательность расчета потребности по строке судовой заказ, код материала согласно представленным зависимостям, что принципиально отличается от определения потребности в материальных ценностях машиностроительного производства.

Описанный комплекс информационной системы материального контроля учета и движения товарно-материальных ценностей отражает весь цикл учета движения материальных ресурсов (ТМЦ) как при новом строительстве, так и при производстве ремонтных и модернизационных работ судовых заказов на судостроительной / судоремонтной верфи, создает условия рационального использования привлекаемых ресурсов.

**Ключевые слова:** управление материально –технического обеспечения, описания комплекса бизнес – процессов и последовательности расчёта потребности на судовой заказ.

### MANAGEMENT PECULIARITIES OF THE DOCKYARD MATERIAL AND TECHNICAL SUPPLY IN MARINE EQUIPMENT CREATION PROCESS

**Alexander Evgenievich Bogdanov,**

deputy CEO of JSC CBR «Galaktika»,

Candidate of Technical Sciences, 212, Moskovsky Ave., 196066, Russia

Tel: (812) 327-27-70, 643-02-61; e-mails: [bogdanov@cbr-galaktika.ru](mailto:bogdanov@cbr-galaktika.ru)

#### Abstract

Management peculiarities of the material and technical supply (MTS) play the special role in shipbuilding. The scheme of the dockyard material and technical supply basic processes over the material resources usage is presented in the article. The scheme serves to be the basis for the function organization of the supply services department and of the rest enterprise departments, responsible for the material values spending and accounting. The sequence requirements calculation in line ship order, in material code in accordance with the presented dependencies, shown in the article, is not the same as for the machine building processes.

The described information system complex of the material values accounting and control displays the whole cycle of the material resources moving (MRM) both for the new construction and for the repairing and modernization works in ship-building and dock repair yard and creates the conditions for the rational usage of the attracted resources

**.Keywords:** material and technical supply management, description of the business-processes complex and the sequence requirements calculation for the ship order.

В судостроении процессы управления материально-техническим обеспечением (МТО) имеет особую роль, и принципиально отличается от ма-

шиностроительного или приборостроительного производства. Определение потребности в товарно – материальных ценностях на плановый период

создания морской техники осуществляется на каждый технологический этап строительства головного судового заказа, когда не завершены выпуск конструкторской документации по проекту. Производство морской техники (МТ) начинается до утверждения технического проекта корабля и в отрасли применяются укрупнённые нормативы, как МТО так и трудозатрат, которые постоянно изменяются по ходу выполнения проектных работ, или принятых методов строительства судового заказа.[1]. В сборочном судостроительном / судоремонтном комплексе (ССРК) невозможно выделить деталь-операцию, на основании которой осуществляется весь управленческий учет и отражение привлекаемых ресурсов на основе фиксированных данных на производство изделия. Основанием для организации и управления процессом закупок в службах снабжения являются генеральный график постройки корабля (судна) и технологический график его постройки, а также заказные ведомости расхода материалов, формируемые на основе выпущенной под определяемый состав работ конструкторской и технологической документации по судовому заказу, которые формируются в системе управления проектами. [2, 3].

Порядок организации получения, проверки, хранения и выдачи в производство закупленной продукции устанавливается корпоративной нормативно-технической документацией по отраслевым методикам расчёта управления ТМЦ, которые достаточно сложно автоматизировать, из-за необходимости учёта управления изменениями конструкторско-технологической документации и оперативного изменения состава событий графиков строительства судового заказа. Полный сбор, учет, хранение и анализ различного рода информации, характеризующей качество закупаемой у поставщиков продукции, организуется отдельно в службах снабжения и представляет собой сложную многоуровневую аналитическую задачу организации процессов планирования, закупки и учёта движения ТМЦ.

План материально-технического снабжения представляет собой совокупность планово-расчетной документации, в которой обосновывается потребность в материальных ресурсах. Поступившие материальные ценности должны быть оприходованы только после количественной и качественной их приемки, произведенной в соответствии с нормативно-технической документацией на приемку материалов.

Исходными данными для осуществления контроля являются нормы расхода материалов заказной документации в сводном и специфицированном видах. Анализ производится по данным проектных и производственных норм, а также фактической выдаче. Базовые процессы управления МТО и общая

схема осуществления контроля над использованием материальных ресурсов является важной функцией службы снабжения и других подразделений предприятия, отвечающих за расходование и учет материальных ценностей, представлена на рис. 1. и включают четырнадцать этапов.

Конфигурация функциональной модели бизнес-процессов МТО формируется следующим образом. Каждой позиции спецификации (СП) чертежа верфи ставится в соответствие идентификатор работы (техкомплект или другая планово-учетная единица). Каждой работе (техкомплекту) ставится в соответствие этап (условное, относительное время выполнения работы с начала постройки заказа). Вычисляются общая норма на заказ с разбивкой по этапам:

- позиции СП верфи сортируются и группируются по группам и кодам материалов;
- позиции СП с одинаковыми кодами материала объединяются в одну запись, количество (норма) суммируется на каждый этап.

Общая норма на заказ является арифметической суммой норм по этапам. Инициатором процесса получения материала является исполнитель (цех), поэтому оптимизировать этот процесс сложно. Объем дефицита или запаса для каждого материального ресурса определяется путем сравнения потребности с количеством на складе (и в пути). Те позиции материалов, по которым образуется дефицит, группируются по группам материалов и поставщикам для формирования спецификаций к договорам на поставку. При определении количества потребного материала в спецификации к договору ОМТС учитывают:

- потребность в материале на планируемую дату;
- потребность до конца постройки;
- транспортные нормы для данного материала;
- потребность в данном материале для других заказов.

Для расчета общей (по всем заказам) потребности в материалах суммируются потребности по отдельным заказам по каждому коду материала. Далее вычисляется общая норма на дату поставки определенной группы материалов, которая в свою очередь разбивается по каждой группе материала. Причем общая норма на каждый период поставки должна совпадать с суммой норм по группам материала. В структуре норм предусматривается специальный реквизит "флаг"- в виде цифры признака состояния заказной документации.

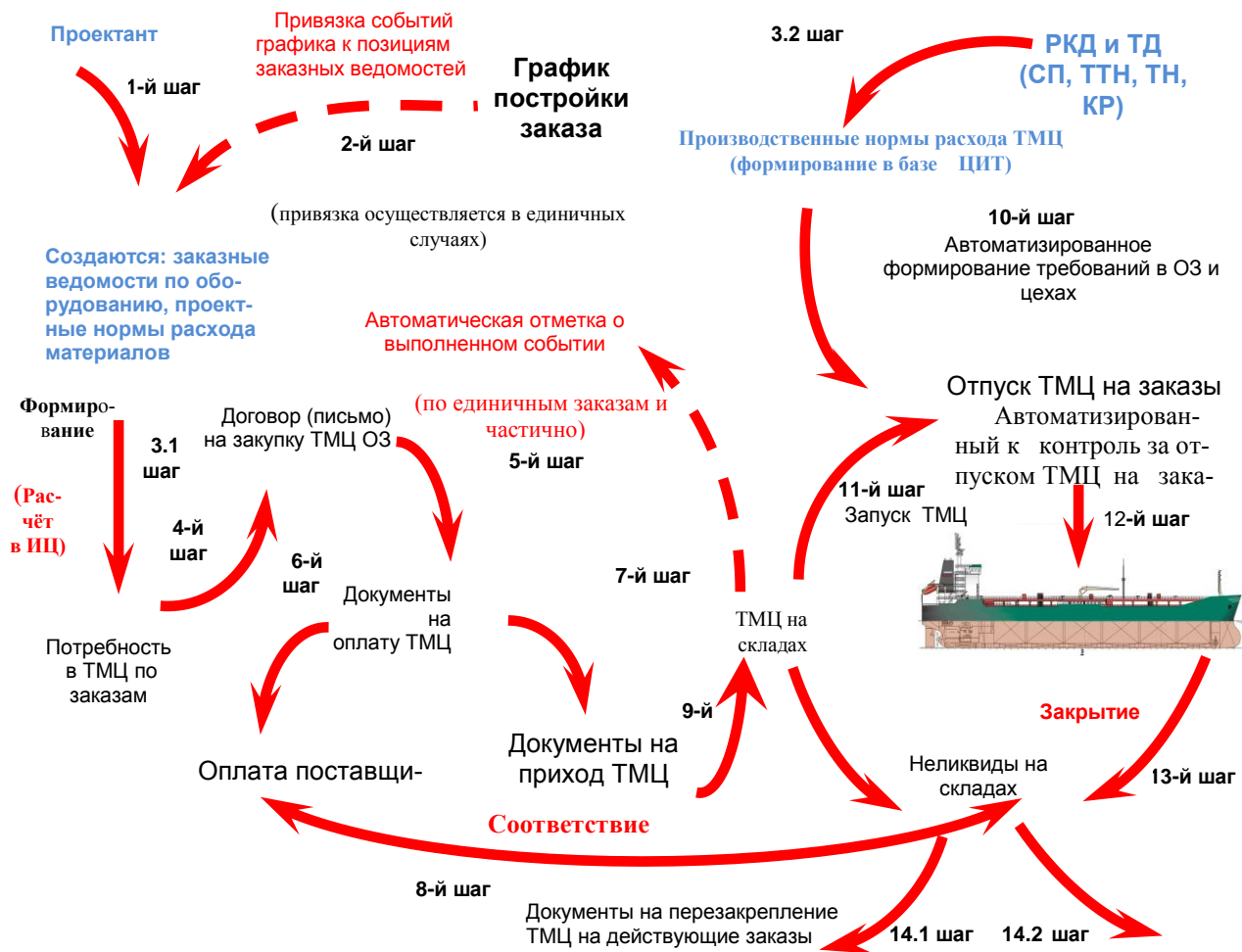


Рис. 1 Схема информационного обеспечения учёта движения товарно - материальных ценностей при создании морской техники

“Флаг” определяет:

- “1”- основная ведомость;
- “2”- измененная ведомость;
- “3”- включение в расчет;
- “4”- включена в расчет (отработаны все позиции).

Для обеспечения гарантии того, что все позиции спецификации учтены в спецификациях на поставки, каждая позиция спецификации на поставку должна иметь номер заказа. Тогда возможны два взаимодополняющих способа проверки:

- для каждого кода материала: сумма нормы расхода материала по позициям СП должна быть меньше или равна суммарному объему из спецификаций всех поставок;

- для каждой позиции СП должна существовать «цепочка связей» до спецификации поставки (код материала в позиции СП → ID работы → ID поставки → код материала в позиции поставки).

Далее рассчитывается потребность по следующим промежуткам интервалов времени планирования:

- на год с поквартальной разбивкой по всем материалам по каждому направлению плана;
- на заданный квартал по всем материалам по каждому направлению плана;

- на год с поквартальной разбивкой по выборочной номенклатуре материалов направления плана (через “классификатор материалов” или заданием первых цифр кода);
- на квартал по выборочной номенклатуре материалов направления плана (через блок НСИ - “классификатор материалов” или заданием первых цифр кода);
- на год с поквартальной разбивкой по выборочной номенклатуре изделий направления плана;
- на квартал по выборочной номенклатуре изделий направления плана;
- на год с поквартальной разбивкой по выборочной номенклатуре изделий, выборочной номенклатуре материалов направления плана.

Расчет потребности предприятия в материальных ресурсах на программу судостроения производится в интегрированной информационной системе в рамках системы материального контроля (СМК) в стоимостном и натуральном выражении и согласовывается с отделом строителей по проекту и ПЭО по объемам и срокам поставки, ценам.

Потребность предприятия в товарно – материальных ценностях согласуется с изменениями производственного плана на заданный период (квартал, месяц). Из таблицы “план по судостроению” выбирается строка плана. В зависимости от заданного периода определяются номера этапов на конец заданного периода. Далее из таблицы “норм расхода материалов по судостроению” по номеру заказа выбираются:

- все строки с флагом “З”- собственное производство; в режиме расчета по выбранной номенклатуре
- все строки с флагом “З” по заданной номенклатуре через “классификатор материалов” или указанные первые знаки (шесть знаков) кодов материалов.

Строки проверяются на условие определения периода планирования по плановой строке. Затем для каждого кода материального ресурса определяется норма расхода нарастающим итогом на начало второго квартала. Для этого в выбранных записях норм, удовлетворяющих условиям:

**№ этапа ≤ № этапа на начало второго квартала** суммируются значения полей “норма расхода”.

Норма расхода нарастающим итогом на начало третьего квартала.

**№ этапа ≤ № этапа на начало третьего квартала** суммируются значения полей “норма расхода”.

Норма расхода нарастающим итогом на начало четвертого квартала.

**№ этапа ≤ № этапа на начало четвертого квартала** суммируются значения полей “норма расхода”.

Норма расхода нарастающим итогом на конец квартала.

**№ этапа ≤ № этапа на конец четвертого квартала** суммируются значения полей “норма расхода”.

Далее из таблицы “фактический расход” по заказу, коду, техкомплекту материала выбираются строки фактического расхода и суммируются значения полей “количество” по данным ключам. Сравниваются коды единицы измерения (КЕИ) факта и норм.

Если КЕИ таблицы “фактический расход” не сравнились с КЕИ в таблице норм, то необходимо выполнить пересчет в КЕИ норм с помощью справочников пересчета единиц измерения. Затем из таблицы “остатки на складах” выбираются по заказам и техкомплектam, по заказу и по коду материала остаток ТМЦ. Если КЕИ таблицы “остатки на складах” не совпадает с КЕИ в таблице норм, то необходимо выполнить пересчет в КЕИ норм с помощью справочников пересчета единиц измерения.

Далее выполняется расчет потребности по строке судовой заказ, код материала согласно приводимым формулам:

$$P_1 = N_1 - (F + O)$$

$$P_2 = N_2 - (F + O) - P_1$$

$$P_3 = N_3 - (F + O) - P_2$$

$$P_4 = N_4 - (F + O) - (P_1 + P_2 + P_3)$$

где F – фактический расход,

O – остаток, закрепленный за заказом,

$N_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3, 4$ ) – норма расхода материала на заданный процент (этап) продвижения заказа,

$P_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) – потребность в материале на  $i$  квартал. Для наглядности можно представить следующую схему (рис.2.)

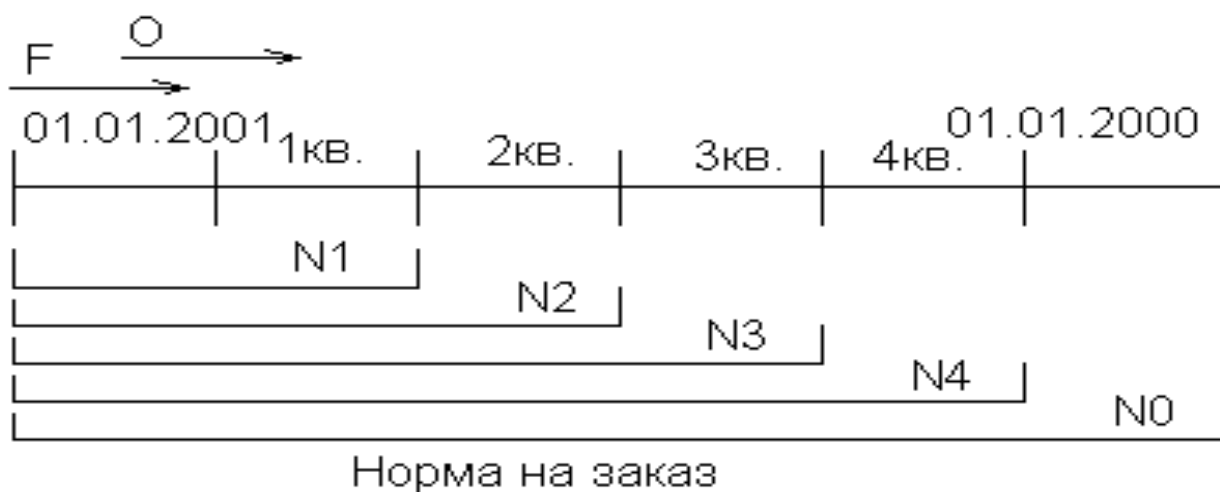


Рис. 2.. Схема определения нормы расхода ТМЦ на судовой заказ.

Для расчета стоимости материала используются таблица "ценник материалов". Из этой таблице выбирается цена (средне рыночная) материала и рассчитывается стоимость потребности материала по строке по формуле:

**"стоимость  $i$  кв." = "цена" \* "потребность  $i$  кв."** (если расчет производится на год с разбивкой по кварталам).

Контроль над правильным использованием материальных ресурсов является важной функцией службы снабжения и других подразделений предприятия, отвечающих за расходование и учет материальных ценностей [4]. Контроль над рациональным расходованием материальных ресурсов предусматривает:

- контроль над расходованием материалов на заказы в соответствии с нормами расхода;
- контроль над расходованием материалов по назначению;
- учет наличия материалов по каждому типоразмеру на складах и подразделениях;
- контроль над хранением материалов в соответствии с условиями, установленными нормативно-технической документацией;

- контроль над первоочередным расходованием материалов более ранних годов изготовления.

Исходными данными для осуществления контроля являются нормы расхода материалов заказной документации в сводном и специфицированном видах. Анализ производится по данным проектных и производственных норм, а также фактической выдаче.

Комплекс информационной системы материального контроля учета и движения товарно-материальных ценностей должен охватывает весь цикл учета движения материальных ресурсов (ТМЦ) как при новом строительстве, так и при производстве ремонтных и модернизационных работ судовых заказов. В этом случае структура информационного обеспечения в области управления материальными ресурсами должна предусматривать:

- расчет позаказной потребности судоверфи в материальных ресурсах по квартально, на год по различным направлениям производства;
- формирование портфеля заказов;
- контроль по номенклатуре и ценам ТМЦ счетов от поставщиков и заявок на предоплату;



- сопоставление норм расхода ТМЦ и фактического расхода ТМЦ на заказы производства;
- формирование и ведение НСИ по технической подготовке производства, планирование и учету ТМЦ; ведение ценника по всем разделам классификатора - номенклатора ТМЦ;
- формирование системы документооборота первичных документов по движению ТМЦ на складах предприятия и по движению МБП в подразделениях,

Основными задачами по управлению закупками являются:

- обеспечение запланированного выпуска продукции материальными ресурсами (материал, полуфабрикаты и изделия) требуемого качества и в требуемые сроки;
- анализ расхода ресурсов при производстве для своевременного выявления дефицита или образования сверхнормативных запасов по отдельным их видам;
- анализ зарегистрированных данных о качестве закупленных материальных ресурсов для уточнения и корректировки перечня приемлемых субподрядчиков.

Указанные задачи автоматизации процессов управления движением товарно - материальных ценностей успешно реализованы в промышленном режиме в составе интегрированной информационной системы

ИИС «Адмирал» на АО «Адмиралтейские верфи».

#### Заключение

1. Комплекс информационной системы материального контроля учета и движения товарно-материальных ценностей верфи существенно отличается от организации машиностроительного или приборостроительного производств и должен охватывает весь цикл учета движения материальных ресурсов (ТМЦ) как при новом строительстве, так и при производстве ремонтных и модернизационных работ судовых заказов.
2. Представленная концепция расчёта потребности в ТМЦ верфи и схема информационного взаимодействия при реализации бизнес – процессов материально - технического обеспечения производства позволяет сформировать и реализовать автоматизированные процессы управления системы материального контроля верфи и повысить эффективность использования привлекаемых ресурсов.
3. Приведенная схема информационного взаимодействия и организационного обеспечения бизнес – процессов реализована в составе интегрированной информационной системе управления ИИС «Адмирал» на АО «Адмиралтейские верфи».

#### Литература

1. Александров В.Л. Перельгин А.В., Соколов В.Ф. Судостроительное предприятие в условиях рынка, СПб, Судостроение 2003, 423 с.
2. Волкова В.Н. Емельянов А.А. Теория систем и системный анализ в управлении организациями; Справочник – М; Финансы и статистика, 2012 , 848 с.
3. Гельфанд Е.В. «Взаимодействие организаций в рамках системы управления проектами». Материалы сборника PLM ФОРУМ 2013 «Управление жизненным циклом изделий судостроения. Информационная поддержка», 17-20 стр.
4. Модель метрики для использования в НАТО. Отчет для Конференции Национальных Директоров по Вооружению, 2000 Г. 41С.

#### References

1. Alexandrov V. L. Perelygin A.V., Sokolov V. F. The ship-building enterprise in the conditions of the market, SPb, Ship-building 2003, 423 p..

2. Volkova V. N. Yemelyanov A.A. The theory of systems and the system analysis in management of the organizations; The Reference book – M; Finance and statistics, 2012, 848 p.
3. Gelfand E.V. "Interaction of the organizations within a control system of projects". Collection PLM materials FORUM 2013 "Management of life cycle of products of shipbuilding. Information support", 17-20 p.
4. Metrics model for use in NATO. The report for Conference of National Directors of Arms, 2000 41p.

УДК 004.032.2:681.324

## МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

**Брезгин Роман Валерьевич**

кандидат технических наук, начальник лаборатории – заместитель начальника отдела  
АО "Концерн "НПО "Аврора"  
194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 15  
e-mail: [mail@avrorasystems.com](mailto:mail@avrorasystems.com)

**Кобзев Валентин Васильевич**

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник – заместитель начальника отдела  
АО "Концерн "НПО "Аврора"  
194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 15  
e-mail: [aspin.avrora@inbox.ru](mailto:aspin.avrora@inbox.ru)

### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы использования сетевых моделей и автоматизации определения параметров сетевых моделей при сетевом планировании процессов создания конструкторской документации на сложные изделия.

На основе анализа этапов планирования разработки конструкторской документации на изделия морского приборостроения предложено математическое определение сетевой модели. Основу модели составляют биэквивалентно связанные ориентированный граф причинно-следственных связей документов и матрица смежности. Основными параметрами сетевой модели являются критический путь и критическая длительность – новый параметр, определяющий максимальную длительность, в течение которой должны завершиться все работы по созданию документации, включенные в сетевую модель.

В целях обеспечения возможности использования предложенной сетевой модели при решении задач сетевого планирования в автоматизированных системах предложен метод автоматизированного формирования сетевой модели, основанный на способе топологической сортировки ориентированного графа. Для возможности реализации предложенного метода разработаны алгоритмы определения критической длительности и критического пути на основе выполнения формальной обработки матрицы смежности.

Рассмотрены ограничения использования предложенной сетевой модели.

**Ключевые слова:** сетевое планирование, сетевая модель, синтез сетевой модели, параметры сетевой модели, матрица смежности, критический путь, критическая длительность, конструкторская документация, автоматизация.

## AUTOMATED SYNTHESIS METHOD OF THE NETWORK MODEL OF DEVELOPMENT PROCESS OF DESIGN DOCUMENTATION

**Brezgin Roman Valer'evich**

PhD in technical Sciences, Head of Laboratory - Deputy Chief of Department  
Concern AVRORA Scientific and Production Association JSC  
194021, St. Petersburg, Karbysheva str., 15  
e-mail: [mail@avrorasystems.com](mailto:mail@avrorasystems.com)

**Kobzev Valentin Vasil'evich**

doctor of technical Sciences, the professor, chief research officer - Deputy Chief of Department  
Concern AVRORA Scientific and Production Association JSC  
194021, St. Petersburg, Karbysheva str., 15  
e-mail: [aspin.avrora@inbox.ru](mailto:aspin.avrora@inbox.ru)

### Abstract

The article explores the use of network models and automation of the determination of network models parameters in the network planning of the creating of the design documentation for complex products.

Mathematical definition of the network model is proposed on basis of the analysis of the stages of planning the development of design documentation for marine instrumentation products.

The basis of the model is a bijectively related oriented graph of cause-effect relations of documents and an adjacency matrix.

The main parameters of the network model are the critical path and the critical duration - a new parameter that determines the maximum duration during which all the work on creating documentation included in the network model should be completed.

In order to ensure the possibility of using the proposed network models in solving planning problems in automated systems is proposed a method for the automated formation of a network model based on the use of topological sorting of a directed graph. For the possibility of implementing of the proposed method was developed algorithms for determining of the critical duration and critical path based on the formal processing of an adjacency matrix.

The limitations of using the proposed network model are considered.

**Key words:** Network analysis, network model, synthesis of the network model, parameters of the network model, adjacency matrix, critical path, critical duration, design documentation, automation

### Введение

Большая сложность и комплексность работ, связанных с разработкой конструкторской документации (КД) на современные изделия корабельного приборостроения, необходимость параллельного выполнения работ, зависимость начала многих работ от результатов других значительно усложняют планирование разработки. Современная методология сетевого планирования и управления, основанная на применении сетевых моделей планируемых процессов, допускающих использование вычислительной техники, позволяет быстро определить последствия различных вариантов управляющих воздействий и находить наилучшие из них. Это дает возможность руководителям проектов своевременно получать достоверную информацию о состоянии дел, возникших задержках и возможностях ускорения хода работ, концентрирует внимание руководителей на "критических" работах, определяющих продолжительность проведения разработки в целом, заставляет совершенствовать технологию и организацию работ, непосредственно влияющих на сроки проведения разработки, помогает составлять рациональные планы работ, обеспечивает согласованность действий исполнителей.

Сетевое планирование начинается с представления программы работ в виде операций. Определяются оценки продолжительности операций и строится сетевая модель в виде графического плана выполнения комплекса работ. Построение сетевой модели позволяет проанализировать все операции и внести улучшения в структуру модели до начала её реализации. На основе сетевой модели строится календарный график, определяющий начало и окончание каждой операции, а также взаимосвязи с другими операциями графика. Сетевая модель и календарный график позволяют выявить критические операции, которым необходимо уделять особое внимание, чтобы закончить все работы в назначенный срок. По некритическим операциям календарный план позволяет определить резервы времени, которые можно выгодно использовать [1-4].

Задачи сетевого планирования невозможно решить без автоматизации процессов построения сетевых моделей, графиков и расчетов их параметров. Известные методы расчета критического пути [5-7] имеют значительную сложность алго-

ритмизации при использовании ЭВМ для их реализации. Известные автоматизированные системы сетевого планирования (например, MS Project) имеют мощные встроенные средства создания и управления сетевыми и календарными графиками [8], однако подготовка и ввод исходных данных в систему может представлять также весьма существенную по сложности и длительности задачу, что в значительной степени увеличивает трудоемкость разработки КД.

В настоящей статье предлагается метод, обеспечивающий возможность автоматизированного формирования сетевой модели процесса создания конструкторской документации. Формальные алгоритмы метода позволяют его использовать в автоматизированных системах планирования и управления разработкой технической документации предприятия.

Суть предлагаемого метода в настоящей статье иллюстрируется на примере условного изделия приборостроения типа корабельная система управления (СУ ТС) из состава комплексной системы управления техническими средствами (КСУ ТС) корабля (далее по тексту – Система "Тест"). Все указанные в настоящей статье данные о составе и характеристиках КД использованы только для примера.

### 1. Сетевая модель процесса разработки конструкторской документации

Следует отметить, что в литературе не отражено четкое определение и описание сетевой модели и ее параметров. В общем смысле принято считать, что сетевая модель может представлять собой информационно-динамическую модель, в которой изображаются взаимосвязи и результаты всех работ, необходимых для достижения конечной цели разработки проекта.

Визуальное представление сетевой модели может представлять сетевой график (конечный ориентированный граф) или временной график, например, в форме диаграммы Ганта.

Кроме визуального представления, сетевая модель характеризуется рядом параметров. Наиболее значимый из них – критический путь.

Для математического определения сетевой модели разработки КД рассмотрим основные этапы сетевого планирования.

#### Этап 1. Определение номенклатуры и параметров элементарных работ

Согласно общим принципам сетевого планирования, первым этапом реализации сетевой модели разработки КД является определение перечня и параметров длительности элементарных работ, составляющих сетевую модель. В задаче моделирования процесса разработки КД элементарной работой будет являться процесс разработки отдельного конструкторского документа.

Множество всех процессов разработки конструкторских документов, составляющих комплект КД для конкретного изделия, обозначим  $M_{кд} = \{x \mid x = \text{код конструкторского документа}\}$ .

При реальном проектировании каждый документ разрабатывается за определенную длительность времени.

Длительность разработки каждого документа из состава КД перед началом проектирования определяется, как правило, экспертным путем на основе данных разработки КД для аналогичных изделий.

Для оценки длительности  $Z$  разработки документов может быть использована следующая формула:  $Z = T_б \cdot N_л / N_{чел}$ , где  $T_б$  – базовая трудоемкость разработки одного листа определенного вида документа, чел./час,  $N_л$  – объем документа, выраженный в количестве листов условного формата А4,  $N_{чел}$  – количество человек, разрабатывающих документ.

Базовая трудоемкость  $T_б$  для каждого вида документа может быть определена в стандарте предприятия на основе статистических данных. Ориентировочные данные об объеме каждого документа, требующего разработки, могут быть определены на начальном этапе проектирования экспертным путем. Количество человек, разрабатывающих документ, целесообразно принять равным единице для всех документов.

Состав и данные по трудоемкости  $T_б$  и длительности  $Z$  разработки документов из комплекта КД на примере изделия Система "Тест" представлены в таблице 1.

Таблица 1

Состав и данные по трудоемкости и длительности разработки документов из комплекта КД для изделия Система "Тест"

Код документа	Наименование документа	Объем, листов А4	$T_б$ , чел./час	$N_{чел}$ , чел.	Д, час
Э1	Схема электрическая структурная	2	5,9	1	12
ТЭ4	Таблица соединений	15	3,7	1	56
Э6	Схема электрическая общая	7	3,7	1	26
Э0	Схема электрическая функционально-принципиальная	10	7,4	1	74
Е1	Схема деления структурная	8	5,9	1	47
С1	Схема комплектационная структурная	2	5,9	1	12
ТУ	Технические условия	70	2,8	1	196
РР1	Расчет надёжности	60	3,2	1	192
РР5	Расчет и обоснование уровня стандартизации и унификации	15	3,2	1	48
РР18	Расчет потребных вычислительных ресурсов типовых ИУС	30	3,2	1	96
Д24	Методика приёмо-сдаточных испытаний	25	3,2	1	80
Д26	Методика проверки изделия на функционирование	20	3,2	1	64
Д33	Программа материально-технической приемки	25	3,2	1	80
Д38	Формуляр сдаточный	40	1	1	40
ПКИ	Перечень комплектующих изделий	30	1	1	30
ПФ	Патентный формуляр	6	3,2	1	19
РЭ	Руководство по эксплуатации	76	3,2	1	243
ФО	Формуляр	70	1	1	70
ФО1	Формуляр. Приложение	20	1	1	20
ЗИ	Ведомость ЗИП	10	3,2	1	32
И*	СУ ТС. Порядок установки приборов унифицированной конструкции на объекте	177	0	0	0
Д	Ведомость заменителей электрорадиоизделий	30	1	1	30
ИМ*	СУ ТС. Инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке изделия	58	0	0	0

Примечание: \* - используются ранее разработанные типовые документы.

**Этап 2. Анализ взаимозависимости работ**

Вторым этапом сетевого планирования является выявление взаимосвязей элементарных работ. Для разработки КД в качестве взаимосвязей элементарных работ примем причинно-следственные зависимости документов из состава КД.

Таким образом, для всех документов из состава множества  $M_{кд}$  выполняется анализ причинно-следственной зависимости. Для каждого документа определяются документы, которые уже должны быть созданы перед началом его разработки (предки), а также документы, разработка которых зависит от наличия данного документа (потомки).

Пусть ориентированный граф  $G_{КД} = (M_{КД}, V_{КД})$ , где  $V_{КД}$  - множество упорядоченных пар на  $M_{КД}$ , т.е. подмножество множества  $M_{КД} \times M_{КД}$ , элементы которого являются дугами графа. Множество  $V_{КД}$  задается в виде матрицы смежности по формуле 1.

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если из } i\text{-ой вершины в } j\text{-ю ведет дуга} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

	Э1	ТЭ4	Э6	Э0	Е1	С1	ТУ	РР1	РР5	РР18	Д24	Д26	Д33	Д38	ПКИ	ПФ	РЭ	ФО	ФО1	ЗИ	И	Д	ИМ
Э1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
ТЭ4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Э6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Э0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Е1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
С1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
ТУ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РР1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РР5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РР18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Д24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Д26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Д33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Д38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ПКИ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ПФ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РЭ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ФО	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ФО1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ЗИ	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0
И	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Д	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ИМ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Рис. 1. Матрица смежности  $V_{КД}$  графа  $G_{КД}$  сетевой модели процессов разработки документов из комплекта КД для изделия Система "Тест"

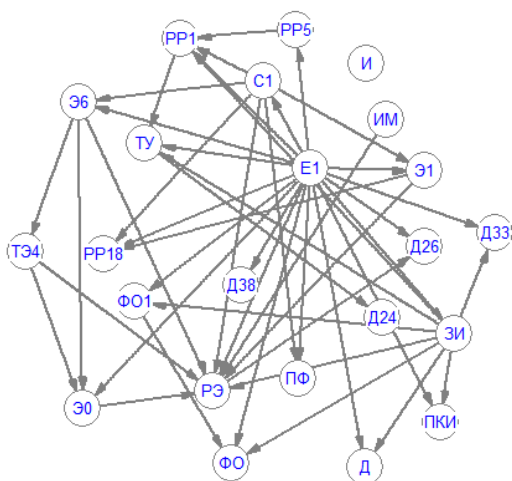


Рис. 2. Граф  $G_{КД}$  сетевой модели процессов разработки документов из комплекта КД для изделия Система "Тест"

**Этап 3. Расчет критического пути и критической длительности**

Из анализа матрицы смежности  $V_{КД}$  (рис. 1) можно установить, что отдельные вершины графа могут иметь нулевое количество предков – являются входами графа. Также отдельные вершины могут иметь нулевое количество потомков – являются выходами графа. Количество предков

На рис. 1 и 2 изображены матрица смежности  $V_{КД}$  и граф  $G_{КД}$ , в котором вершины соответствуют процессам (работам) по разработке соответствующего документа из множества  $M_{КД}$ , а дуги – причинно-следственные связи документов.

$i$ -й вершины графа определяется по матрице смежности  $V_{КД}$  как число элементов  $i$ -ого столбца матрицы со значением "1", а количество потомков  $i$ -й вершины графа – как число элементов  $i$ -ой строки матрицы со значением "1".

Основным параметром, характеризующим сетевую модель, является критический путь  $P_{кр}$ , определяемый как один из всех путей между одной из входных вершин графа и одной из выходных вершин, имеющий наибольшую временную продолжительность. Критический путь  $P_{кр}$  определяет критическую длительность  $Z_{кр}$  – максимальную длительность, в течение которой завершатся все работы сетевой модели. Для сетевой модели разработки КД критический путь  $P_{кр}$  графа определяет перечень документов, разработка которых будет определять максимальную длительность разработки всего комплекта КД на изделие.

Существуют различные способы определения критического пути графа [6, 7]. Определим величину длительности критического пути следующим образом.

Для каждой дуги графа  $G_{КД}$  вводится понятие веса дуги  $S(x_i, x_j)$ , соответствующего длительности разработки документа, к которому направлена дуга. Также вводится понятие веса вершины  $L(x_i)$ , соответствующего величине полной длительности разработки данного документа, начиная от начальной вершины графа. Вес дуги обо-

значается цифрой на дуге графа, вес вершины обозначается цифрой рядом с вершиной графа (рис. 3).

Полная длительность разработки документа, соответствующая весу вершины  $L(x_i)$ , определяется как сумма длительностей разработки всех документов, входящих в самый длинный путь от начала графа до вершины  $x_i$ .

Величина критической длительности графа будет равна наибольшей из величин полной длительности, определенных для вершин графа. Для графа  $G_{кд}$  (рис. 3) критическая длительность будет соответствовать полной длительности документа с кодом "Д24":  $D_{кю} = 563$  час.

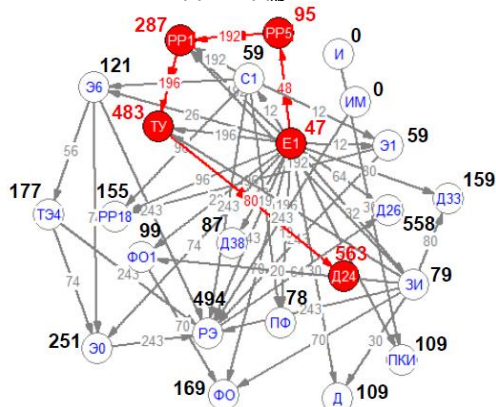


Рис. 3. Граф сетевой модели процессов разработки документов из комплекта КД для изделия Система "Тест" с указанием весов вершин и дуг

Критический путь графа  $G_{кд}$  будет соответствовать пути с наибольшей временной длительностью от входной вершины до вершины, соответствующей документу с кодом "Д24". Опреде-

лим перечень вершин, входящих в критический путь, следующим образом.

Дуги, образующие путь, могут быть найдены способом последовательного возвращения, начиная от конечной вершины критического пути. А именно, дуга  $(x_i, x_j)$  принадлежит пути тогда и только тогда, когда  $L(x_i)$  является максимальным из всех вершин  $x_i$ , от которых имеются дуги, направленные к вершине  $x_j$ . Путь определяется по шагам, начиная с конечной вершины  $x_n$ . Начиная с вершины  $x_j$ , равной  $x_n$ , на каждом следующем шаге определяется вершина  $x_i$ , для которой выполняется указанное утверждение. Шаги продолжаются до тех пор, пока не будет достигнута начальная вершина  $x_0$ .

Для графа  $G_{кд}$  критический путь:  $\Pi_{кр} = E1 \rightarrow PP5 \rightarrow PP1 \rightarrow TU \rightarrow Д24$  (рис. 3). Причем сумма длительностей разработки документов, входящих в критический путь  $\Pi_{кр}$  графа  $G_{кд}$ , равна критической длительности  $Z_{кр}$  (563 час).

**Этап 4. Формирование графика работ**

Завершающим этапом сетевого планирования является задача формирования временного графика работ на основе построенной сетевой модели и рассчитанных параметров сети.

На рис. 3 вес каждой вершины  $L(x_i)$  графа определяет величину полной длительности разработки документа или, что тоже самое, значение времени окончания разработки данного документа  $Z_k(x_i)$  относительно момента времени начала работ. Вычитая из  $Z_k(x_i)$  значение длительности разработки документа  $Z(x_i)$ , определяется значение времени начала разработки данного документа  $Z_n(x_i)$  относительно момента времени начала работ – см. табл. 2. На основе данных табл. 2 возможно построить временной график разработки КД (рис. 4).

Таблица 2

Данные для формирования временного графика разработки документов из комплекта КД для изделия Система "Тест"

Код документа	Наименование документа	Z, час	Z <sub>к</sub> , час	Z <sub>н</sub> , час
Э1	Схема электрическая структурная	12	59	47
ТЭ4	Таблица соединений	56	177	121
Э6	Схема электрическая общая	26	121	95
Э0	Схема электрическая функционально-принципиальная	74	251	177
Е1	Схема деления структурная	47	47	0
С1	Схема комплектационная структурная	12	59	47
ТУ	Технические условия	196	483	287
РР1	Расчет надёжности	192	287	95
РР5	Расчет и обоснование уровня стандартизации и унификации	48	95	47
РР18	Расчет потребных вычислительных ресурсов типовых ИУС	96	155	59
Д24	Методика приёмо-сдаточных испытаний	80	563	483
Д26	Методика проверки изделия на функционирование	64	558	494
Д33	Программа материально-технической приемки	80	159	79
Д38	Формуляр сдаточный	40	87	47
ПКИ	Перечень комплектующих изделий	30	109	79
ПФ	Патентный формуляр	19	78	59
РЭ	Руководство по эксплуатации	243	494	251
ФО	Формуляр	70	169	99
ФО1	Формуляр. Приложение	20	99	79
ЗИ	Ведомость ЗИП	32	79	47
И	СУ ТС. Порядок установки приборов унифицированной конструкции на объекте	0	0	0
Д	Ведомость заменителей электрорадиоизделий	30	109	79



Рис. 4. Временной график разработки КД

**2. Математическое определение сетевой модели разработки КД**

На основе рассмотренных основных этапов сетевого планирования введем следующее математическое определение сетевой модели  $СМ_{КД}$  для процессов разработки КД.

$СМ_{КД} = \langle G_{КД}, Z_{кр}, П_{кр}, MZ, MZ_k \rangle$ ,  
 где  $G_{КД} = (M_{КД}, V_{КД})$  - ориентированный граф,  
 $M_{КД} = \{x \mid x = \text{код конструкторского документа}\}$  - множество всех процессов разработки конструкторских документов, составляющих комплект КД для конкретного изделия,  $V_{КД}$  - множество дуг графа  $G_{КД}$  - множество упорядоченных пар на  $M_{КД}$ , т.е. подмножество множества  $M_{КД} \times M_{КД}$ , заданное в виде матрицы смежности,  $Z_{кр}$  - критическая длительность,  $П_{кр}$  - критический путь,  $MZ$  - множество значений длительности разработки документов из состава множества  $M_{КД}$ ,  $MZ_k$  - множество значений полной длительности разработки документов из состава множества  $M_{КД}$ .

**3. Автоматизация формирования сетевой модели разработки КД**

Использование предложенной сетевой модели  $СМ_{КД}$  в системах автоматизированного управления техническим документооборотом требует разработки специального алгоритмического обеспечения для определения элементов модели.

Ниже предлагается метод автоматизированного определения элементов сетевой модели, основанный на способе топологической сортировки ориентированного графа.

**1) Определение состава документации  $M_{КД}$  и длительностей разработки документов  $MZ$**

Данные о составе  $M_{КД}$  и длительности разработки  $MZ$  документов из комплекта КД являются исходными и определяются разработчиками изделия на начальном этапе его проектирования.

В рамках принятой системы технического документооборота предприятия, использующего систему ЕСКД, номенклатура конструкторской документации для различных стадий проектиро-

вания изделий устанавливается в стандарте предприятия. Номенклатура КД, которая должна быть разработана для конкретного изделия, устанавливается с учетом требований технического задания в конструкторском документе "Перечень-комплектность документации изделия".

Как было указано выше, оценка длительности разработки каждого документа из состава КД перед началом проектирования определяется экспертным путем.

Исходные данные для формирования сетевой модели разработки КД для изделия Система "Тест" представлены в табл. 1.

**2) Формирование матрицы смежности ориентированного графа**

В связи с тем, что в стандарте предприятия может быть установлена полная номенклатура документов, возможных для разработки всех изделий, выпускаемых данным предприятием, возможно заранее сформировать матрицу смежности  $V_{ст}$  для всех конструкторских документов, возможных для разработки на данном предприятии.

В таком случае матрицу смежности  $V_i$  для комплекта КД какого-либо конкретного изделия возможно получить из матрицы смежности  $V_{ст}$  путем исключения всех строк и столбцов, соответствующих документам, не вошедшим в состав комплекта КД для данного изделия.

Таким образом, матрица смежности  $V_i$  для комплекта КД конкретного изделия автоматически формируется из матрицы смежности  $V_{ст}$  на основе данных  $M_{КД}$  о составе КД изделия.

Очевидно, что в реальных условиях проектирования сформированная матрица смежности  $V_i$  подлежит корректировке экспертом (разработчиком изделия) для учета особых условий производства конкретного изделия.

**3) Определение расчетных параметров модели**

Автоматизация определения расчетных параметров сетевой модели выполняется с использованием алгоритмов обработки матрицы смежности графа на основе способа топологической сортировки.

Пусть уровень вершины графа - натуральное число, определяемое следующим образом:

- 1) Если количество предков вершины графа равно нулю, то её уровень равен нулю (т.е. нулевой уровень графа составляет множество  $N_0$  всех входов графа);
- 2) Если множества  $N_i$  вершин уровня  $i$  определены для всех  $i \leq k$ , то для уровня  $k+1$  множество  $N_{k+1}$  содержит те и только те вершины, предки которых принадлежат любому из уровней с номером от 0 до  $k$ , причем существует хотя бы один предок уровня  $k$ .

Физический смысл уровня вершины графа означает длину максимального пути (в количестве дуг) от входной вершины графа до данной вершины.



Граф сетевой модели подвергается топологической сортировке (упорядочиванию вершин графа) таким образом, чтобы вершины, принадлежащие одному уровню, располагались слева направо, а уровни располагались сверху вниз, по слоям.

Для выполнения топологической сортировки используется принцип Демукрона следующим образом [7].

Нулевой уровень образуют входные вершины графа – вершины с количеством предков, равным нулю. Удалив из графа все вершины нулевого уровня и исходящие из них дуги, вновь получают граф, входами которого будут являться вершины первого уровня исходного графа. Указанный процесс "последнего" удаления вершин продолжают до тех пор, пока все вершины исходного графа не будут распределены по уровням.

Реализация принципа Демукрона для графа  $G_{кд}$  порядка  $n$  может быть выполнена путем обработки матрицы смежности  $V_{кд}$  согласно следующему алгоритму топологической сортировки. В результате работы алгоритма получается массив  $Ord$ , номер каждого элемента которого соответствует номеру уровня, а значение элемента содержит множество вершин графа (кодов документов)  $G_{кд}$ , входящих в данный уровень.

- 1) В качестве временной переменной сформировать множество  $V$  всех вершин графа  $G_{кд}$ . В качестве временной переменной сформировать массив  $M$ , номер каждого элемента которого соответствует порядковому номеру столбца матрицы смежности  $V_{кд}$ , а значение элемента равно количеству ячеек в соответствующем столбце со значением "1". Значение счетчика уровней  $k$  установить равным нулю.

- 2) Если множество  $V$  не пусто, перейти на шаг 3, если иначе, то перейти на шаг 4.
- 3) Сформировать элемент массива  $Ord$  с номером  $k$ . В качестве значения элемента массива  $Ord$  определить множество вершин (кодов документов) графа  $G_{кд}$ , соответствующих столбцам матрицы смежности, для которых значения элементов массива  $M$  равны нулю. В множестве  $V$  удалить вершины, составляющие найденное множество вершин в  $k$ -ом элементе массива  $Ord$  ("замаскировать" вершины). Для элементов массива  $M$ , имеющих значение "0", значение изменить на "-". Для остальных элементов массива  $M$  значения уменьшить на число, соответствующее количеству ячеек со значением "1" в столбце матрицы смежности  $V_{кд}$ , соответствующем номеру данного элемента массива  $M$ , и в строках, соответствующих вершинам, составляющим найденное множество вершин в  $k$ -ом элементе массива  $Ord$  (т.е. вершинам найденного последнего уровня). Увеличить счетчик уровней на 1 ( $k=k+1$ ). Вернуться к шагу 2.
- 4) Конец алгоритма.

На рис. 5 приведена таблица результатов алгоритма обработки матрицы смежности графа  $G_{кд}$  (рис.1), строки которой для каждой итерации алгоритма содержат последовательности значений массива  $M$  и элементов массива  $Ord$ . Проверки соответствуют вершинам, не принадлежащим множеству  $V$  ("замаскированным" вершины) на соответствующем этапе алгоритма.

На рис. 6 приведен граф  $G_{кд}$ , преобразованный после топологической сортировки.

Э1	ТЭ4	Э6	Э0	Е1	С1	ТУ	РР1	РР5	РР18	Д24	Д26	Д33	Д38	ПКИ	ПФ	РЭ	ФО	ФО1	ЗИ	И	Д	ИМ
1	1	2	3	0	1	3	4	1	3	1	2	2	1	2	2	8	3	2	1	0	2	0
0	1	1	2	-	0	2	3	0	2	1	1	1	0	1	1	6	2	1	0	-	1	-
-	1	0	2	-	-	1	0	-	0	1	1	0	-	0	0	3	1	0	-	-	0	-
-	0	-	1	-	-	0	-	-	-	1	1	-	-	-	-	2	0	-	-	-	-	-
-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

$Ord_0 = \{E1, И, ИМ\}$   
 $Ord_1 = \{Э1, С1, РР5, Д38, ЗИ\}$   
 $Ord_2 = \{Э6, РР1, РР18, Д33, ПКИ, ПФ, ФО1, Д\}$   
 $Ord_3 = \{ТЭ4, ТУ, ФО\}$   
 $Ord_4 = \{Э0, Д24\}$   
 $Ord_5 = \{РЭ\}$   
 $Ord_6 = \{Д26\}$

Рис. 5. Таблица результатов обработки матрицы смежности графа  $G_{кд}$  при выполнении алгоритма топологической сортировки

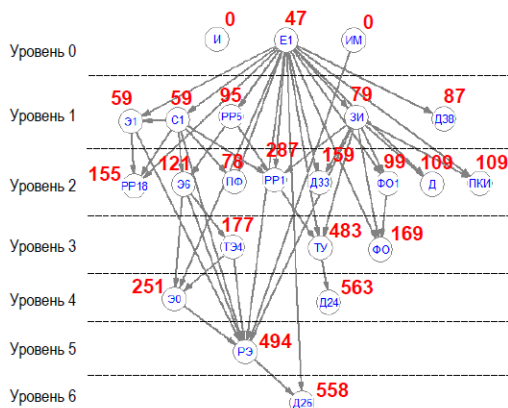


Рисунок 6. Граф  $G_{кд}$ , упорядоченный по уровням вершин

Определить полные длительности разработки каждого документа, а также критическую длительность  $Z_{кр}$ , возможно путем выполнения мо-

дифицированного алгоритма обработки матрицы смежности графа.

Для ориентированного графа  $G_{кд}$  формируется модифицированная матрица смежности  $V_M$  следующим образом (см. рис. 7):

$$b_{ij} = \begin{cases} Z \text{ (час), если } \varepsilon_i = \varepsilon_j \\ 1, \text{ если из } i \text{ - ой вершины в } j \text{ - ю ведет дуга} \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases} \quad (2)$$

	Э1	ТЭ4	Э6	Э0	Е1	С1	ТУ	РР1	РР5	РР18	Д24	Д26	Д33	Д38	ПКИ	ПФ	РЭ	ФО	ФО1	ЗИ	И	Д	ИМ
Э1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
ТЭ4	0	56	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Э6	0	1	26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Э0	0	0	0	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Е1	1	0	1	1	47	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
С1	1	0	1	0	0	12	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
ТУ	0	0	0	0	0	0	196	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РР1	0	0	0	0	0	0	1	192	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РР5	0	0	0	0	0	0	0	1	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
РР18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Д24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Д26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Д33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Д38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ПКИ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
ПФ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0
РЭ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	243	0	0	0	0	0	0
ФО	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	0	0	0	0	0
ФО1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20	0	0	0	0	0
ЗИ	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	32	0	1	0
И	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Д	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
ИМ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Рис. 7. Модифицированная матрица  $V_M$  смежности графа  $G_{кд}$  сетевой модели процессов разработки документов из комплекта КД для изделия Система "Тест" с указанием значений длительности разработки документов на главной диагонали

На первом шаге выполняется алгоритм, реализующий обработку матрицы смежности графа  $G_{кд}$  по принципу Демукрона и результаты обработки алгоритма записываются в таблицу по форме рис. 5.

На втором шаге выполняется дополнительный алгоритм обработки таблицы результатов обработки матрицы смежности (рис. 8).

В строке таблицы для уровня  $Ord_0$  в ячейках со значением "0" в скобках указывается полная длительность разработки документов  $Z_k$ , равная длительности разработки соответствующих документов, указанная в матрице смежности на главной диагонали. Далее последовательно для каждой строки следующего уровня  $Ord_i$  выполняется следующее.

- 1) Определяются вершины (коды документов), для которых в строке уровня  $Ord_i$  указано значение "0".
- 2) Отдельно для каждой вершины, определенной по п.1), выполняется следующее:
  - 2.1) По матрице смежности  $V_M$  (рис. 7) определяются вершины-предки (вершины, для которых

указано значение "1" в соответствующем столбце матрицы смежности).

- 2.2) Для найденных вершин по п.2.1) в таблице на рис. 8 в ячейках строки для предыдущего уровня  $Ord_{i-1}$  определяется полная длительность разработки документа  $Z_k$  (цифра в скобках) и выбирается максимальное из найденных значений.

- 2.3) В таблице на рис. 8 в столбце, соответствующем рассматриваемой вершине по п.2), в ячейку для уровня  $Ord_{i-1}$  в записывается в скобках значение, найденное по п.2.2), а в ячейку для уровня  $Ord_i$  в записывается значение полной длительности  $Z_k$  разработки документа, равное сумме значения, найденного по п.2.2), и значения длительности разработки данного документа, определяемого по главной диагонали модифицированной матрицы смежности  $V_M$  для данной вершины.

Таблица с результатами обработки матрицы смежности графа  $G_{кд}$  указанным модифицированным алгоритмом показана на рис. 8.

Э1	ТЭ4	Э6	Э0	Е1	С1	ТУ	РР1	РР5	РР18	Д24	Д26	Д33	Д38	ПКИ	ПФ	РЭ	ФО	ФО1	ЗИ	И	Д	ИМ	
1(47)	1	2	3	0(47)	1(47)	3	4	1(47)	3	1	2	2	1(47)	2	2	8	3	2	1(47)	0(0)	2	0(0)	Ord <sub>1</sub> ={Е1, И, ИМ}
0(59)	1	1(95)	2	-	0(59)	2	3(95)	0(95)	2(59)	1	1	1(79)	0(87)	1(79)	1(59)	6	2	1(79)	0(79)	-	1(79)	-	Ord <sub>2</sub> ={Э1, С1, РР5, Д38, ЗИ}
-	1(121)	0(121)	2	-	-	1(287)	0(287)	-	0(155)	1	1	0(159)	-	0(109)	0(78)	3	1(99)	0(99)	-	-	0(109)	-	Ord <sub>2</sub> ={Э6, РР1, РР18, Д33, ПКИ, ПФ, ФО1, Д}
-	0(177)	-	1(177)	-	-	0(483)	-	-	-	1(483)	1	-	-	-	-	2	0(169)	-	-	-	-	-	Ord <sub>3</sub> ={ТЭ4, ТУ, ФО}
-	-	-	0(251)	-	-	-	-	-	-	0(563)	1	-	-	-	-	1(251)	-	-	-	-	-	-	Ord <sub>4</sub> ={Э0, Д24}
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1(494)	-	-	-	-	0(494)	-	-	-	-	-	-	Ord <sub>5</sub> ={РЭ}
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0(558)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ord <sub>6</sub> ={Д26}

Рис. 8. Таблица результатов обработки матрицы  $V_{кд}$  смежности графа  $G_{кд}$  при выполнении модифицированного алгоритма топологической сортировки

В результате в таблице на рис. 8 для каждого документа ячейка со значением "0" в скобках будет содержать значение полной длительности  $Z_k$  разработки данного документа. Множество указанных значений будет составлять множество  $MZ_k$  значений длительности разработки документов из состава КД. Ячейка с наибольшим числом в скобках будет соответствовать критической длительности разработки документов  $Z_{кр}$ .

Множество значений ячеек в главной диагонали модифицированной матрицы смежности  $V_{кд}$  на рис. 7 будут составлять множество  $MZ$  значений длительности разработки документов из состава КД.

Критический путь определяется также по шагам на основе обработки таблицы на рис. 8 на основе следующего алгоритма.

- 1) Определить ячейку с максимальным значением полной длительности (цифра в скобках). Вершину (код документа), соответствующую столбцу с найденной ячейкой, определить конечной в критическом пути. Указанную вершину также определить в качестве значения временной переменной D. Уровень, соответствующий строке с найденной ячейкой, определить в качестве временной переменной k. Если найденная ячейка находится на уровне "0", перейти на шаг 4, если иначе, то перейти на следующий шаг.
- 2) Для вершины, указанной в качестве значения переменной D, по матрице смежности  $V_M$  на рис. 7 определить множество M вершин-предков (вершин, для которых указано значение "1" в соответствующем столбце матрицы смежности).
- 3) В таблице на рис. 8 в строке для уровня k-1 для столбцов, соответствующих вершинам из состава множества M, определить такую ячейку со значением "0", в которой цифра в скобках будет наибольшей. Вершину (код документа), соответствующую столбцу для найденной ячейки, определить предыдущей вершиной в критическом пути. Если найденная ячейка находится на уровне "0", перейти на шаг 4, если иначе, то значению переменной D присвоить вершину, соответствующую столбцу для найденной ячейки, значению переменной k присвоить значение, соответствующее уровню строки найденной ячейки, и перейти на шаг 2.
- 4) Конец алгоритма.

Таким образом, сетевая модель разработки КД  $SM_{кд}$  определяется формальным способом на основе исходных данных о составе конструктор-

ской документации на изделие  $M_{кд}$  и данных о взаимосвязи документов в составе КД, которые определены стандартом предприятия.

Следует отметить, что реальные процессы разработки конструкторской документации на сложные изделия имеют более сложную природу и могут характеризоваться существенно более обширным количеством показателей. КД на изделия приборостроения морской техники имеют сложную иерархическую структуру, отражающую структуру изделия (например, уровни система – прибор – модуль). Разработка взаимосвязанных документов может выполняться частично параллельно, а не строго последовательно. Также на разработку КД могут оказывать влияние внешние факторы, например такие как необоснованное затягивание сроков рассмотрения и согласования КД внешней организацией.

Сетевая модель разработки КД, предложенная в настоящей статье, характеризует базовые принципы разработки КД на сложное изделие и может быть расширена с учетом дополнительных исследований.

### Выводы

1. Представлено математическое определение сетевой модели на основе анализа основных этапов сетевого планирования процесса разработки КД.

Введен новый параметр, характеризующий сетевую модель, в виде критической длительности работ, который дополняет общепринятое понятие "критический путь" и может служить основанием для оптимизации (минимизации) трудозатрат на разработку КД.

2. Определены этапы (и их содержательный смысл) сетевого планирования, включающие:

- определение номенклатуры и параметров элементарных работ;
- анализ взаимозависимости работ;
- расчет критической длительности и критического пути;
- формирование временного графика работ.

Результатом анализа взаимозависимости работ является полученная матрица смежности для полной номенклатуры документов из комплекта КД на изделие. На основе матрицы смежности синтезирован граф генетических связей (предки-потомки) для документов из состава КД.

Расчет критической длительности и критического пути производится на основе матрицы смежности и графа генетических связей. Между двумя математическими объектами – матрицей и

графом существует биективная связь (взаимно-однозначное соответствие).

3. Предложен метод автоматизированного формирования сетевой модели разработки КД, основанный на способе топологической сортировки ориентированного графа. Метод состоит из последовательно выполняемых этапов, а именно:

- определение состава документации и длительности разработки документов;

- формирование матрицы смежности ориентированного графа;
- определение расчетных параметров модели.  
Разработаны два алгоритма: алгоритм обработки матрицы смежности вершин графа любого порядка и алгоритм определения критического пути.

#### Литература

1. Клиффорд Ф. Грей, Эрик У. Ларсон. Управление проектами: Практическое руководство / Пер. с англ. – М.: Издательство «Дело и Сервис», 2003. – 528 с.
2. Управление проектом на основе сетевых моделей: Метод. указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т, Сост. И.Г.Абрамова. Самара, 2007. 58 с.
3. Шах А.Д., Погостин С.З., Альман П.А. Организация, планирование и управление предприятием химической промышленности: Учебник/Под ред. Н.П. Федоренко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981. – 432 с.
4. М.Ю. Иванов, Автоматизация сетевого планирования и управления. – Системы. Методы. Технологии. – 2013 № 2 (18) с. 63-69.
5. Ф. Леви, Г. Томпсон, Дж. Уист. Введение в метод критических путей, Industrial Scheduling, edited by John F., Muth and Gerald L. Thompson, copyright 1963, p.335.
6. Белоусов А.И., Ткачев С.Б. Дискретная математика: Учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 3-е изд., стереотип. – М.: изд-во СГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с. (Сер. Математика в техническом университете; Вып. XIX).
7. Н. Кристофидес Теория графов. Алгоритмический подход – М.: изд-во "Мир", 1978. – 432.
8. Кудрявцев Е.М. Microsoft Project. Методы сетевого планирования и управления проектом. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 240 с., ил.

#### References

1. Klifford F. Grey, Erik U. Larson. Upravlenie proektami: Prakticheskoe rukovodstvo Per. s angl. – Moscow, Delo i Servis, 2003. 528 p.
2. Upravlenie proektom na osnove setevykh modeley: Metod. ukazaniya, Samar. gos. aerokosm. un-t, Sost. I.G.Abramova. Samara, 2007. 58 p.
3. Shakh A.D., Pogostin S.Z., Al'man P.A. Organizatsiya, planirovanie i upravlenie predpriyatiem khimicheskoy promyshlennosti: Uchebnik, Pod red. N.P. Fedorenko. – 3-e izd., pererab. i dop. – Moscow, Vyssh. shkola, 1981. 432 p.
4. M.Yu. Ivanov, Avtomatizatsiya setevogo planirovaniya i upravleniya. (2013) Sistemy. Metody. Tekhnologii. № 2 (18) pp. 63-69.
5. F. Levi, G. Tompson, Dzh. Uist. Vvedenie v metod kriticheskikh putey, Industrial Scheduling, edited by John F., Muth and Gerald L. Thompson, copyright 1963, p.335.
6. Belousov A.I., Tkachev S.B. Diskretnaya matematika: Ucheb. dlya vuzov, Pod red. V.S. Zarubina, A.P, Krishchenko. – 3-e izd., stereotip. – Moscow, SGTU im. N.E. Bauman, 2004. 744 p. (Ser. Matematika v tekhnicheskoy universitete; Vyp. XIX).
7. N. Kristofides Teoriya grafov. Algoritmicheskiy podkhod – Moscow, Mir, 1978. 432 p.
8. Kudryavtsev E.M. Microsoft Project. Metody setevogo planirovaniya i upravleniya proektom. – Moscow. DMK Press, 2005. 240 p.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ,  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

УДК 539.3

**ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ И ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ СЖИМАЕМЫХ  
УПРУГО-ВЯЗКИХ СТАРЕЮЩИХ СРЕД**

**Арутюнян Александр Робертович,**

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры теории упругости  
Санкт-Петербургский государственный университет  
198504, Санкт-Петербург, Петродворец, пр. Университетский, 28  
e-mail: a.arutyunyan@spbu.ru

**Арутюнян Роберт Ашотович**

доктор физико-математических наук, профессор кафедры теории упругости  
Санкт-Петербургский государственный университет  
198504, Санкт-Петербург, Петродворец, пр. Университетский, 28  
e-mail: r.arutyunyan@spbu.ru

**Аннотация**

Полимеры и композиционные материалы интенсивно внедряются во многих областях современной инженерной практики: судостроение, авиастроение, атомная промышленность и т.д. При длительном воздействии механических напряжений и умеренных температур в полимерах происходят взаимосвязанные процессы деформирования и поврежденности. При этом значительное влияние на изменения физико-механических характеристик этих материалов оказывают процессы климатического и деформационного старения [1-3]. В мировой научной литературе проблеме деформационного старения уделяется мало внимания. Наши исследования посвящены систематическому изучению этой проблемы в опытах на чередование статического и циклического нагружения и длительного старения. Для описания эффектов старения и поврежденности рассматривается система из упруго-вязких реологических соотношений, записанных в шкале эффективного времени и кинетическое уравнение для параметра поврежденности. Получены аналитические соотношения для деформации ползучести, релаксации напряжений, параметра сплошности и критерии длительной прочности. Построены соответствующие теоретические кривые. Рассмотрены релаксационные эффекты в стареющей упруго-вязкой среде Максвелла.

**Ключевые слова:** эффективное время, упруго-вязкая среда Максвелла и Больцмана-Вольтерра, климатическое и деформационное старение, параметр поврежденности, ползучесть, релаксация напряжений, критерий длительной прочности.

**DAMAGE AND LONG-TERM STRENGTH OF COMPRESSIBLE ELASTIC  
VISCOUS AGED MEDIA**

**Arutyunyan Alexander Robertovich**

PhD Phys.Mech.,  
senior researcher of department of theory of elasticity  
Saint-Petersburg State University  
Universitetskii pr., 28, St. Petersburg, Petrodvorets, Russian Federation  
e-mail: a.arutyunyan@spbu.ru

**Arutyunyan Robert Ashotovich**

professor, Dr.Sci.Phys.Mech.,  
professor of department of theory of elasticity  
Saint-Petersburg State University  
Universitetskii pr., 28, St. Petersburg, Petrodvorets, Russian Federation  
e-mail: r.arutyunyan@spbu.ru

Abstract

Polymers and composites are implemented in many fields of modern engineering: shipbuilding, aviation, nuclear industry and other. During the long action of stresses and temperatures in polymers the interrelated processes of deformation and damage are occurred. The physical and mechanical characteristics of these materials are affected by the processes of climatic and strain aging [1-3]. In world scientific literature the deformation aging received a little attention. Our researches are devoted to a systematic study of climatic and deformation aging. The investigations involve experiments on the alternation of static and cyclic loading and long-term aging. The system of elastic-viscous relations (the modified Maxwell's equation, written in the effective time scale and the equation of hereditary visco-elasticity of Boltzmann-Volterra) and the kinetic equation for the damage parameter are used to describe the effects of damage and aging. Relations for creep deformation, stress relaxation, damage parameter and long-term strength criteria are obtained. The corresponding theoretical curves are plotted. The relaxation effects in aging visco-elastic Maxwell medium are considered.

**Key words:** effective time, elastic-viscous Maxwell and Boltzmann-Volterra medium, climatic and strain aging, damage parameter, creep, stress relaxation, long-term strength criterion.

**Экспериментальные исследования климатического и деформационного старения образцов из полиуретана в опытах на сжатие**

В опытах на глубокое сжатие испытывались образцы из полиуретана квадратного поперечного сечения размерами 20x20x30 мм. Опыты выполнялись при комнатной температуре на машинах марки Instron 1231U-10 и Shimadzu AGX-50 Plus со скоростями деформирования 3,5 мм/мин. На рис. 1 цифрой 1 отмечена начальная кривая напряжение-деформация, полученная для образца № 1 без старения.

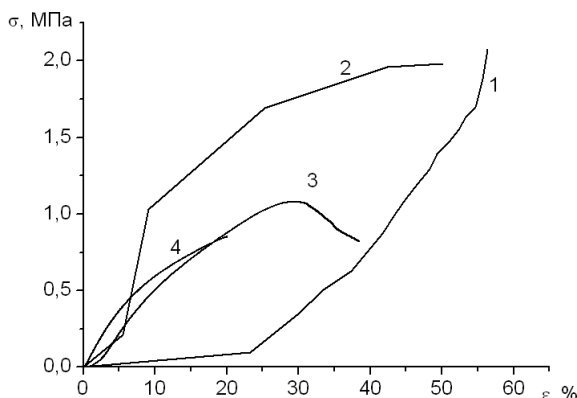


Рис. 1. Диаграммы  $\sigma - \epsilon$ , полученные для образцов № 1, 2 и 3 по программам глубокого сжатия и старения.

Кривая 2 рис. 1 получена для образца № 2, состаренным в течение около двенадцати лет в лабораторных условиях. Цифрой 3 отмечена кривая  $\sigma - \epsilon$  для образца № 2, который после глубокого сжатия старился дополнительно в течение около семи лет в лабораторных условиях. Цифрой 4 отмечена кривая для образца № 3, программа испытаний которого аналогична образцу № 2.

Также в экспериментах на глубокое сжатие использовались образцы с размерами 15x15x20 мм. Образец № 5 был испытан на глубокое сжатие, старился в лабораторных условиях в течение около двенадцати лет, затем повторно был испытан на сжатие. Кривая  $\sigma - \epsilon$ , полученная по результатам этого опыта, отмечена на рис. 2 цифрой 2.

Цифрой 1 на рис. 2 отмечена кривая  $\sigma - \epsilon$  для образца № 4 без старения. Цифрой 3 на рис. 2

отмечена кривая  $\sigma - \epsilon$  для образца № 5, который после глубокого сжатия старился дополнительно в течение около семи лет в лабораторных условиях.

Согласно полученным экспериментальным результатам в процессе длительного старения порядка девятнадцати лет материал упрочняется немонотонно. Максимальная величина упрочнения (по величине напряжения) составляет более 30 раз по сравнению с образцом без старения. С увеличением времени старения материал разупрочняется. Этот эффект нуждается в дополнительных исследованиях.

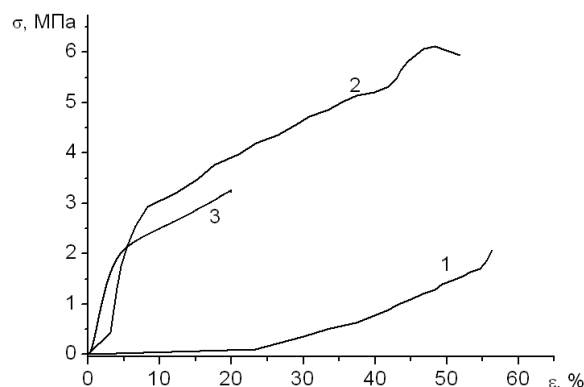


Рис. 2. Диаграммы  $\sigma - \epsilon$ , полученные для образцов № 4 и 5 по программам глубокого сжатия и старения.

**Кривые усталости образцов из полиуретана в опытах на повторное растяжение**

Для усталостных испытаний использовался круглый армированный полиуретановый приводной ремень Continental Contitech диаметром 4 мм, из которого вырезались образцы с рабочей длиной 3,5 мм. Опыты выполнялись в условиях повторного растяжения (коэффициент асимметрии цикла  $R = 0$ ) при заданной амплитуде изменения перемещения и с частотами нагружения 10 Гц и 5 Гц на настольной усталостной сервогидравлической испытательной машине Si-Plan SH-B. Полученные кривые усталости показаны на рис. 3. Наблюдается существенная частотная зависимость (в пределах одного порядка) кривых усталости.

**Влияние климатического и деформационного старения на усталостную прочность образцов из полиуретана**

На следующем этапе исследований были проведены циклические испытания шести круглых образцов из полиуретана при повторном растяжении при амплитуде изменения перемещения  $\Delta l = 4$

мм и частоте нагружения 10 Гц. Таким образом, было определено среднее число циклов до разрушения, которое составило  $N \approx 180\ 000$  циклов.

Для исследования влияния климатического и деформационного старения на усталостную прочность использовалась следующая программа испытаний:

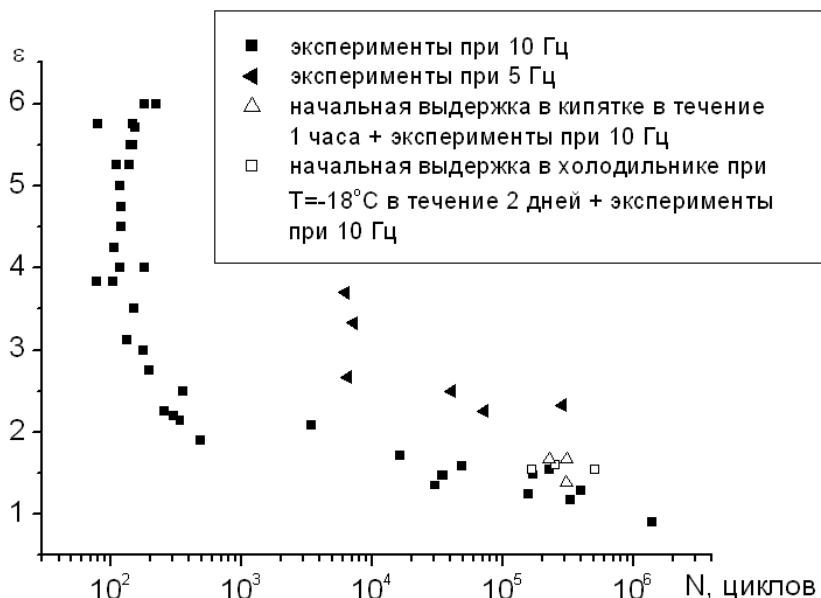


Рис. 3. Кривые усталости для образцов из полиуретана при частотах 10 Гц и 5 Гц.

1). Пять образцов испытывались до  $N/2 = 90\ 000$  циклов при данных параметрах нагружения. Затем образцы старились в лабораторных условиях в течение 1 года, затем они испытывались при данных параметрах нагружения до разрушения.

2). Шесть образцов первоначально старились в кипящей воде в течение 1 часа. Три из них испытывались при данных параметрах нагружения до разрушения (рис. 3). Остальные образцы испытывались до  $N/2 = 90\ 000$  циклов при данных параметрах нагружения. Затем старились в лабораторных условиях в течение 1 года и затем испытывались при данных параметрах нагружения до разрушения.

3). Пять образцов первоначально старились в холодильнике при  $T = -18^\circ\text{C}$  в течение 2 дней. Три из них испытывались при данных параметрах нагружения до разрушения (рис. 3). Остальные образцы ис-

пытывались до  $N/2 = 90\ 000$  циклов при данных параметрах нагружения. Затем образцы старились в лабораторных условиях в течение 1 года и испытывались при данных параметрах нагружения до разрушения.

Результаты циклических испытаний круглых образцов из полиуретана по различным программам климатического старения представлены в таб. 1.

Согласно полученным результатам наблюдается значительное циклическое упрочнение, которое существенно зависит от режима старения.

Таблица 1. Результаты циклических испытаний круглых образцов из полиуретана при  $\Delta l = 4$  мм и частоте 10 Гц по различным программам климатического старения.

	Без старения	Климатическое старение		
		Программа (1)	Программа (2)	Программа (3)
Среднее число циклов до разрушения N	180 000	745 000	1 855 000	2 365 000
N/N <sub>без старения</sub>	1	> 4	> 10	> 13

**Теоретические модели стареющей упруго-вязкой сжимаемой среды**

Полученные экспериментальные результаты показывают, что процессы деформирования и старения приводят к деструктивным эффектам и значительно изменению физико-механических характеристик, вследствие накопления в материале разного рода дефектов, характеризующих поврежденность материала. В случае композиционных материалов из хрупких компонент поврежденность определяется следующими процессами: потерей сплошности зоны контакта волокно-матрица, разрушение волокон, образование трещин или пустот в матрице и др. Эти процессы сопровождаются химическими реакциями, которые усиливают изменения структуры и свойств и способствуют охрупчиванию разрушению полимерных и композиционных материалов. В случае стабильных полимеров, в частности композиционных, когда процессы старения не являются определяющими, разрушения связаны с механической поврежденностью. В работе рассматриваются оба случая. В случае стареющих сред используется уравнение Максвелла, записанное в шкале эффективного времени и кинетическое уравнение, основанное на концепции поврежденности. Параметр поврежденности определяется величиной относительного изменения плотности материала, являющегося интегральной мерой накопления структурных микродефектов в процессе длительного нагружения и старения. Для описания поведения стабильной, сжимаемой упруго-вязкой среды привлекается уравнение наследственной среды Больцмана-Вольтера.

В работе используется концепция поврежденности [1, 2], а в качестве параметра сплошности (поврежденности)  $\psi$  ( $1 \geq \psi \geq 0$ ) рассматривается отношение  $\psi = \rho / \rho_0$  [3] ( $\rho_0$  – начальная,  $\rho$  – текущая плотность). Таким образом, введенный параметр является интегральной мерой накопления структурных микродефектов в процессе длительных механических и климатических воздействий. В начальном состоянии  $t = 0$ ,  $\rho = \rho_0$ ,  $\psi = 1$ . В момент разрушения  $t = t_f$ ,  $\rho = 0$ ,  $\psi = 0$ .

**Ползучесть, поврежденность и длительная прочность стареющей среды Максвелла.**

Рассмотрим задачу о растяжении образца из упруго-вязкого стареющего материала под воздействием постоянной нагрузки  $P$ . В качестве реологического уравнения воспользуемся модифицированным уравнением Максвелла, записанным в шкале эффективного времени  $\alpha$  [3]

$$\frac{d\varepsilon}{d\alpha} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{d\alpha} + \frac{\sigma}{\eta}, \tag{1}$$

$$d\alpha = f_1(\alpha, \varepsilon, T, t)dt + f_2(\alpha, \varepsilon, T, t)d\varepsilon, \tag{2}$$

где  $\varepsilon$  – деформация,  $\sigma$  – истинное напряжение,  $T$  – температура,  $E$  – модуль упругости,  $\eta$  – коэффициент вязкости.

Параметр  $\alpha$  рассматривается как эффективное время, с помощью которого возможно описание процессов климатического и деформационного старения. Согласно уравнению (2) при активных нагружениях параметр  $\alpha$  соответствует деформационному времени  $\varepsilon$ . В состоянии разгрузки этот параметр описывает кинетику химических процессов старения и сводится к обычному времени  $t$ . При такой трактовке можно ввести понятие химического времени. Таким образом, параметр эффективного времени в общем случае способен описать взаимосвязанные деформационные и физико-химические процессы и описывать их развитие в шкале деформационного и химического времени. В этом отличие данного параметра от известных температурно-временных и полимеризационных параметров, используемых в механике материалов [4-8].

Принимая закон сохранения массы  $\rho_0 l_0 F_0 = \rho l F$  ( $l_0, F_0$  – начальная,  $l, F$  – текущая длина и площадь поперечного сечения стержня), из которого следует соотношение  $\sigma = \sigma_0 \psi e^\varepsilon$  и уравнение (1) может быть записано в виде

$$\frac{d\varepsilon}{d\alpha} = \frac{\sigma_0}{E} \frac{d(\psi e^\varepsilon)}{d\alpha} + \frac{\sigma_0 \psi e^\varepsilon}{\eta}, \tag{3}$$

где  $\sigma_0 = P / F_0$  – условное напряжение,  $\varepsilon = \ln(l / l_0)$  – деформация.

Кинетическое уравнение для параметра сплошности (поврежденности)  $\psi$  определяется следующим соотношением [8-9]

$$\psi^a \frac{d\psi}{dt} = -A \sigma_0^n \psi^n e^{n\varepsilon}, \tag{4}$$

где  $a, A, n$  – постоянные.

Таким образом, проблема ползучести и длительной прочности стареющей полимерной среды сводится к решению взаимосвязанных уравнений (3)-(4). В общем виде не представляется возможным получения аналитического решения этой системы. Далее рассматриваются некоторые приближенные решения.

При расчетах по формуле (2) параметр эффективного времени задается в виде [3]



$$d\alpha = k(\alpha_\infty - \alpha)t^m dt, \quad (5)$$

где  $k, \alpha_\infty, m$  – постоянные,  $\alpha$  – параметр деградации материала ( $\alpha = N/N_0$ ,  $N_0$  – начальное число химических связей,  $N$  – текущее число разрушенных химических связей). Таким образом, уравнение (5) может рассматриваться как уравнение химической реакции, а параметр  $\alpha$  имеет смысл химического времени.

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_0} \left[ 1 + \frac{\alpha_\infty - \alpha_0}{\tau} \left( 1 - \exp\left(-\frac{k}{m+1} t^{m+1}\right) \right) \right], \quad (6)$$

где  $\tau = \eta/E$  – время релаксации.

Теоретические кривые ползучести согласно (6) показаны на рис. 4. Используются следующие значения коэффициентов:  $\alpha_0 = 0, \alpha_\infty = 1, m = 0, k = 0,021 \text{ сек}^{-1}, \sigma_0 = 1 \text{ МПа}$ , времена релаксации и модули упругости  $\tau_1 = 1 \text{ сек}, E_0 = 25 \text{ МПа}$  (кривая 1) и  $\tau_2 = 30 \text{ сек}, E_0 = 30 \text{ МПа}$  (кривая 2). Экспериментальные результаты отмечены кружочками и крестиками. Теоретические кривые на рис. 4 согласуются с результатами экспериментов [10] по ползучести и старению полиэтиленовых пленок. Верхняя кривая получена в экспериментах над образцами без старения, нижняя кривая – после старения. Образцы старились в течение 7 дней при температуре 353 К.

Согласно расчетам наиболее простое решение, качественно описывающее экспериментальные кривые поврежденности, может быть получено при следующих приближениях

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_0} \left[ 1 + \frac{(\alpha_\infty - \alpha_0)k}{\tau(m+1)} t^{m+1} \right], \quad (7)$$

$$\psi^a \frac{d\psi}{dt} = -A\sigma_0^n \psi^n (1 + n\varepsilon). \quad (8)$$

$$\psi = \left[ 1 - (a-n+1)A\sigma_0^n \left( \frac{n\sigma_0(\alpha_\infty - \alpha_0)k}{E_0\tau(m+1)(m+2)} t^{m+2} + \left( \frac{n\sigma_0}{E_0} + 1 \right) t \right) \right]^{\frac{1}{a-n+1}} \quad (9)$$

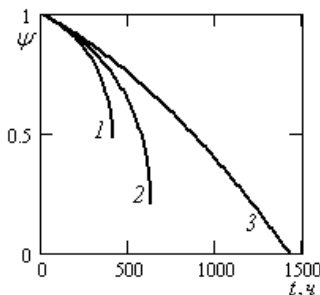


Рис. 5. Кривые для параметра сплошности  $\psi$  согласно (9) для различных значений постоянных:  $a = 6$  – кривая 1,  $a = 4$  – кривая 2 и  $a = 2$  –

При решении уравнения (3) принимается предположение о независимости процесса ползучести от поврежденности, согласно условию  $\psi e^\varepsilon \approx 1$ . Тогда решение этого уравнения при начальных условиях  $t = 0, \alpha = \alpha_0, \varepsilon = \sigma_0/E_0$  может быть записано в виде

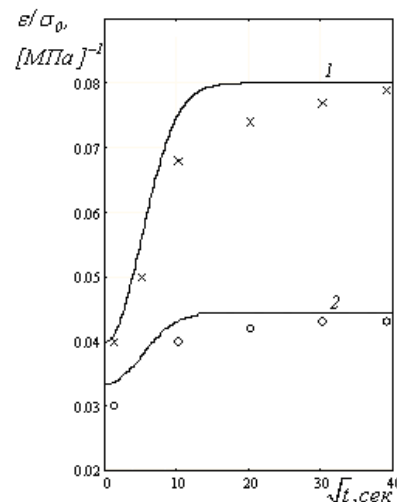


Рис. 4. Теоретические кривые ползучести согласно соотношению (6) и экспериментальные результаты [10].

Внося (7) в (8) и решая его при начальном условии  $t = 0, \psi = 1$ , получим

кривая 3.

На рис. 5 показаны кривые изменения параметра сплошности согласно (9) для различных значений постоянных ( $a=6$  – кривая 1,  $a=4$  – кривая 2 и  $a=2$  – кривая 3).

При расчетах приняты следующие значения коэффициентов:  $n=2$ ,  $A=10^{-7} [МПа]^{-2}$ ,

$$t_f = \frac{E_0 \tau}{n \sigma_0 (\alpha_\infty - \alpha_0) k} \left[ - \left( \frac{n \sigma_0}{E_0} + 1 \right) + \left( \left( \frac{n \sigma_0}{E_0} + 1 \right)^2 + \frac{n (\alpha_\infty - \alpha_0) k}{E_0 \tau (a - n + 1) A \sigma_0^{n-1}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (10)$$

На рис. 6 в двойных логарифмических координатах показаны кривые длительной прочности согласно формуле (10) для различных значений коэффициентов ( $a=6$  – кривая 1,  $a=4$  – кривая 2 и  $a=2$  – кривая 3). При расчетах приняты следующие значения коэффициентов:  $n=2$ ,  $A=10^{-7} [МПа]^{-2}$ ,  $\alpha_0=0$ ,  $\alpha_\infty=1$ ,  $m=0$ ,  $k=0,021 \text{ сек}^{-1}$ ,  $\tau=1 \text{ сек}$ ,  $E_0=2000 \text{ МПа}$ .

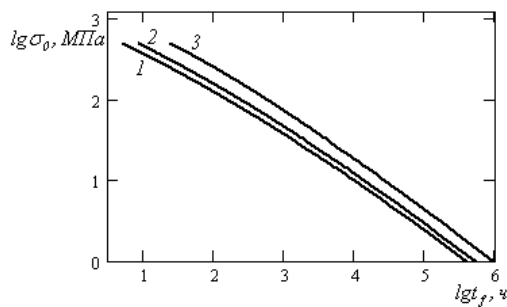


Рис. 6. Кривые длительной прочности согласно формуле (10) для различных значений коэффициентов:  $a=6$  – кривая 1,  $a=4$  – кривая 2 и  $a=2$  – кривая 3.

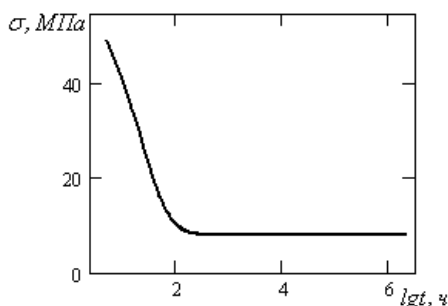
**Релаксация напряжений**

Рассмотрим случай релаксации напряжений. Принимая в (1)  $\varepsilon = const$ , получим следующее уравнение

$$\frac{1}{E} \frac{d\sigma}{d\alpha} + \frac{\sigma}{\eta} = 0 \quad (11)$$

Учитывая соотношение (5) и решая уравнение (11) при начальном условии  $t=0$ ,  $\sigma = \sigma_0$ , получим

$$\sigma = \sigma_0 \exp \left[ \frac{1}{\tau} (\alpha_\infty - \alpha_0) (e^{-kt} - 1) \right] \quad (12)$$



$\sigma_0=60 \text{ МПа}$ ,  $\alpha_0=0$ ,  $\alpha_\infty=1$ ,  $m=0$ ,  $k=0,021 \text{ сек}^{-1}$ ,  $\tau=1 \text{ сек}$ ,  $E_0=2000 \text{ МПа}$ .

Принимая условия разрушения  $t=t_f$ ,  $\psi=0$ , из (9) получим критерий длительной прочности

Рис. 7. Кривая релаксации напряжений согласно формуле (13).

На рис. 7 показана теоретическая кривая релаксации напряжений согласно формуле (12). При расчетах были приняты следующие значения коэффициентов:  $\sigma_0=60 \text{ МПа}$ ,  $\tau_0=0,5 \text{ ч}$ ,  $k=0,021 \text{ сек}^{-1}$ ,  $\alpha_0=0$ ,  $\alpha_\infty=1$ .

При  $t \rightarrow \infty$  из (12) следует

$$\sigma = \sigma_* = \sigma_0 \exp \left[ - \frac{1}{\tau} (\alpha_\infty - \alpha_0) \right], \quad (13)$$

где  $\sigma_*$  – предельная величина напряжения.

Релаксация напряжений по модели Максвелла определяется в виде соотношения  $\sigma = \sigma_0 \exp(-t/\tau)$ , из которого следует  $\sigma \rightarrow 0$  при  $t \rightarrow \infty$ , что не согласуется с результатами опытов.

**Поврежденность и разрушение наследственной упруго-вязкой среды Больцмана-Вольтерра**

В случае стабильных полимеров, когда процессы старения не являются определяющими, разрушение связано с механической поврежденностью. Например [11], в случае композиционных материалов параметр сплошности достигает до 15 % в опытах на ползучесть. Поврежденность определяется потерей сплошности зоны контакта волокно-матрица, разрушением волокон в дефектных объемах, образованием трещин или пустот в матрице и др. Для описания этих процессов и формулировки соответствующих критериев длительной прочности далее используется уравнение наследственной вязко-упругой среды Больцмана-Вольтерра

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{E} \int_0^t R(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau, \quad (14)$$

где  $R(t-\tau)$  – некоторая убывающая функция аргумента  $(t-\tau)$  (ядро ползучести).

Далее рассмотрим наиболее простую формулу ядра ползучести в виде модифицированного соотношения Больцмана

$$R(t-\tau) = \frac{c}{t-\tau + \tau_0}, \quad (15)$$

где  $c, \tau_0$  – постоянные.

Как будет показано далее, при таком выборе ядра ползучести удастся получить аналитическое решение уравнения поврежденности и сформулировать соответствующий критерий длительной прочности.

В случае ползучести, когда  $\sigma = \sigma_0 = const$ , из решения уравнения (14) с учетом (15) и начального условия  $t=0, \varepsilon=0$  имеем соотношение для

$$\psi = \left[ 1 - (1-n)A\sigma_0^n e^{\frac{n\sigma_0}{E}} \frac{\tau_0}{n\sigma_0 c + 1} \left( 1 - \left( \frac{t + \tau_0}{\tau_0} \right)^{n\sigma_0 c + 1} \right) \right]^{\frac{1}{1-n}} \quad (17)$$

На рис. 8 представлена кривая изменения параметра сплошности  $\psi$  согласно формуле (17).

Принимая условие разрушения  $t = t_f, \rho = 0, \psi = 0$ , из (17) получим критерий длительной прочности

$$t_f = \tau_0 \left[ \left( 1 - \frac{n\sigma_0 c + 1}{(1-n)A\sigma_0^n \tau_0 e^{\frac{n\sigma_0}{E}}} \right)^{\frac{1}{n\sigma_0 c + 1}} - 1 \right] \quad (18)$$

деформации ползучести [3]

$$\varepsilon = \sigma_0 \left( \frac{1}{E} + c \ln \left( \frac{t + \tau_0}{\tau_0} \right) \right) \quad (16)$$

Внося (16) в уравнение для параметра сплошности (4) и решая это уравнение при начальном условии  $t=0, \psi=1$ , получим

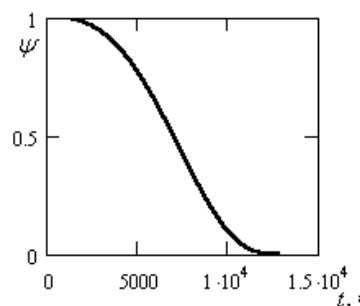


Рис. 8. Кривая изменения параметра сплошности  $\psi$  согласно формуле (17).

Кривая длительной прочности согласно формуле (18) представлена на рис. 9.

При расчетах по формулам (17) и (18) были приняты следующие значения коэффициентов:  $\sigma_0 = 50 \text{ МПа}, E = 4000 \text{ МПа}, \tau_0 = 2 \text{ ч}, n = 0,7, C = 5 \cdot 10^{-2} [\text{МПа}]^{-1}, A = 1 \cdot 10^{-11} [\text{МПа}]^{-0.7}$ .

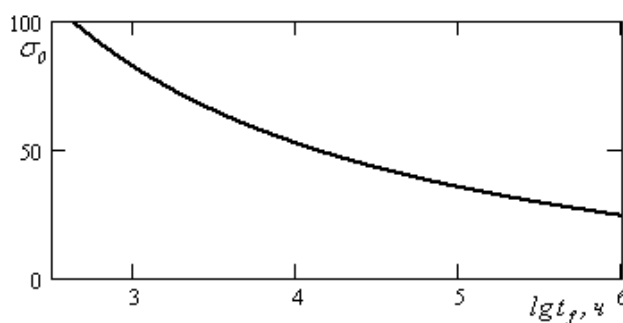


Рис. 9. Кривая длительной прочности согласно критерию (18).

**Заключение**

Представлены результаты опытов над образцами из полиуретан при чередовании статических и циклических нагрузений и климатического и деформационного старения. Опыты по статическому нагружению выполнялись при чередовании глубокого сжатия образцов и длительного климатического и деформационного старения. Исследовано также влияние эффекта старения на усталостную прочность. Для проведения усталостных испытаний использовались круглые полиуретановые образцы. Усталостные испытания проводились в условиях отнулевого растяжения при за-

данной амплитуде изменения перемещения и с частотами нагружения 10 Гц и 5 Гц. Для описания эффектов старения и поврежденности предложена система из упруго - вязких реологических соотношений (модифицированное уравнение Максвелла, записанное в шкале эффективного времени и уравнение наследственной вязкоупругости Больцмана-Вольтерра) и кинетическое уравнение для параметра поврежденности. Параметр поврежденности определяется величиной относительного изменения плотности, являющегося интегральной мерой накопления структурных микродефектов в процессе длительного

нагрузки и старения. Показано, что предложенные уравнения описывают хорошо кривые ползучести и релаксации напряжений, в частности, в отличие от формулы Максвелла, решение для релаксации напряжений имеет не нулевую асимптоту. Получены аналитические соотношения для деформации ползучести, релаксации напряжений, параметра сплошности и критерии длительной

прочности. Построены соответствующие теоретические кривые.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 17-79-20361).

#### Литература

1. Качанов Л.М. О времени разрушения в условиях ползучести // Изв. АН СССР. ОТН. 1958. N 8. С. 26-31.
2. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций М.: Наука. 1966. 752с.
3. Арутюнян Р.А. Проблема деформационного старения и длительного разрушения в механике материалов. СПб.: Изд-во СПбГУ. 2004. 252с.
4. Гуль В.Е. Структура и прочность полимеров. М.: Химия. 1971. 344с.
5. Бартев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов М.-Л.: Химия. 1964. 387с.
6. Москвитин В.В. Сопrotивление вязко-упругих материалов. М.: Наука. 1972. 327с.
7. Valanis K.C. On the foundation of the endochronic theory of viscoplasticity // Archiwum mechaniki stosowanej. 1975. vol. 27. N 5-6. P. 857-868.
8. Арутюнян Р.А. Высокотемпературное охрупчивание и длительная прочность металлических материалов // Механика твердого тела. 2015. N 2. С. 96-104.
9. Арутюнян Р.А. Проблема высокотемпературной ползучести и длительной прочности металлических материалов // Вестник гражданских инженеров. 2015. N 6 (53). С. 76-80.
10. Пестриков В.М. Об определяющих соотношениях стареющих материалов с учетом протекающих физико-химических процессов // Известия РАН. Мех. тверд. тела. 1999. N 4. С. 134-140.
11. Кузнецов Г.Б., Ковров В.Н. Учет эффектов разрыхления высоконаполненного полимера в уравнениях наследственной вязкоупругости // Известия РАН. Механика твердого тела. 1994. N 4. С. 110-115.

#### References

1. Kachanov L.M. O vremeni razrusheniya v usloviyah polzuchesti. Izv. AN SSSR. OTN. 1958. N 8. S. 26-31.
2. Rabotnov YU.N. Polzuchest' ehlementov konstrukcij M.: Nauka. 1966. 752s.
3. Arutyunyan R.A. Problema deformacionnogo stareniya i dlitel'nogo razrusheniya v mekhanike materialov. SPb.: Izd-vo SPbGU. 2004. 252s.
4. Gul' V.E. Struktura i prochnost' polimerov. M.: Himiya. 1971. 344s.
5. Bartenev G.M., Zuev YU.S. Prochnost' i razrushenie vysokoeplastichnyh materialov M.-L.: Himiya. 1964. 387s.
6. Moskvitin V.V. Soprotivlenie vyzko-uprugih materialov. M.: Nauka. 1972. 327s.
7. Valanis K.C. On the foundation of the endochronic theory of viscoplasticity. Archiwum mechaniki stosowanej. 1975. vol. 27. N 5-6. P. 857-868.
8. Arutyunyan R.A. Vysokotemperaturnoe ohрупchivanie i dlitel'naya prochnost' metallicheskih materialov. Mekhanika tverdogo tela. 2015. N 2. S. 96-104.
9. Arutyunyan. R.A. Problema vysokotemperaturnoj polzuchesti i dlitel'noj prochnosti metallicheskih materialov. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2015. N 6 (53). S. 76-80.
10. Pestrikov V.M. Ob opredelyayushchih sootnosheniyah stareyushchih materialov s uchetom protekayushchih fiziko-himicheskikh processov. Izvestiya RAN. Mekh. tverd. tela. 1999. N 4. S. 134-140.
11. Kuznecov G.B., Kovrov V.N. Uchet ehffektov razryhleniya vysokonapolnennogo polimera v uravneniyah nasledstvennoj vyzkoupругosti. Izvestiya RAN. Mekhanika tverdogo tela. 1994. N 4. S. 110-115.

**ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

УДК 658.3.07; ГРНТИ 73.01.75

**КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ЦЕННОСТНОЙ ДИАГНОСТИКИ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МОРСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ****Марин Любенов Маринов**

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем безопасности транспортных систем

Институт проблем транспорта им. Н.С.Соломенко Российской академии наук

199178, Санкт-Петербург, В.О. 12 линия, 13

тел. (812) 321-95-68 e-mail: [marinlomsky@gmail.com](mailto:marinlomsky@gmail.com)**Алексей Леонидович Стариченков**

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет ЛЭТИ им. В.И.Ульянова (Ленина)

197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д.5

тел. (812) 321-95-68 e-mail: [alstar72@yandex.ru](mailto:alstar72@yandex.ru)**Аннотация**

При рассмотрении влияния специалиста на безопасность транспортной деятельности не учитываются влияние самых мощных и устойчивых факторов поведения, не зависящих от его текущего состояния, конкретных условий и продолжительности работы - факторы мораль, воля и интерес. Влияние этих ключевых поведенческих факторов еще более сильное в чрезвычайных ситуациях, где в условиях стресса и непредсказуемости профессионализм и способности часто теряют свое значение. Мораль человека в таких ситуациях является своеобразной рамкой, в которой могут проявляться свободная воля и интерес. Поэтому мораль является фундаментальным, определяющим фактором безопасности человеческого поведения. Результаты проведенного моделирования и наблюдений показывают, что информация о моральной убежденности человека, его силы воли, преобладающих интересах, профессиональной и психологической подготовке, качествах, способностях, мотивации и потребностях - по отдельности, не может раскрыть долгосрочных тенденций его поведения. Воздействие всех факторов комплексное и только их рассмотрение в единстве и динамической взаимосвязи может указать на подлинные человеческие склонности. Те факторы, которые сейчас считаются определяющими безопасность профессионального поведения специалистов и руководителей транспорта, в действительности можно назвать *второстепенными (оперативными) факторами*. Такие факторы являются профессионализм, способности, качество, психофизиологическая подготовка. В этом плане проведенные исследования меняют существующее до сих пор мнение, что только усилия, направленные на подбор людей с качествами, способностями и высокой профессиональной и психологической подготовкой могут привести к ощутимому росту безопасности и увеличению эффективности профессиональных действий. Старание оптимизировать второстепенные факторы и невнимание к влиянию ключевых поведенческих факторов (мораль – воля – интерес) в нормальной обстановке и чрезвычайных ситуациях, является фундаментальной ошибкой и причиной низкой эффективности современных подходов к оптимизации профессиональной деятельности.

**Ключевые слова:** человеческий фактор, профессиональное поведение, безопасность, эффективность.

**THE CONCEPT OF SOFTWARE DEVELOPMENT FOR PROFESSIONAL -  
VALUE DIAGNOSIS ACTIVITY OF MARINE PROFESSIONALS****Marin Lubenov Marinov**

PhD, leading researcher of the laboratory of vehicle safety systems

**Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences**

199178, St. Petersburg, V.O. 12 line, 13

Tel. (812) 321-95-68 e-mail: [marinlomsky@gmail.com](mailto:marinlomsky@gmail.com)**Alexey Leonidovich Starichenkov**

Dr. Sci. Tech., associate professor, Head of Department, Saint Petersburg Electrotechnical University LETI 5, Professor Popov street, Saint-Petersburg, 197376

Tel. (812) 321-95-68 e-mail: [alstar72@yandex.ru](mailto:alstar72@yandex.ru)

### Abstract

When examining the human impact on the security of transport does not take into account the influence of the most powerful and sustainable behavior, factors beyond the control of its current state, the specific conditions and duration of work factors morals, will and interest. The influence of these key behavioral factors even stronger in emergency situations, where under stress and unpredictability of professionalism and abilities often lose their value. Human morality in such situations is kind of frame, which may include free will and interest. So the moral is a fundamental determinant of human behavior security. The results of the simulations and observations show that information about the moral conviction of the man, his willpower, prevailing interests, professional and psychological preparation, qualities, abilities, motivation and needs-in isolation, cannot reveal the long-term trends of his behavior. The impact of all the complex factors and their only consideration in unity and dynamic relationship can indicate a genuine human tendency. Those factors that are now considered defining safety professional conduct for transport professionals and executives, in fact, can be called secondary (operational) factors. Such factors are professionalism, ability, quality, Psychophysiological training. In this regard, studies vary existing still of the opinion that the only effort aimed at recruiting people with qualities, abilities and high professional and psychological preparation, can lead to a noticeable increase in security and increase efficiency for professional action. Trying to optimize secondary factors and disregard for the influence of key behavioral factors (moral-will-interest) in normal circumstances and emergency situations is a fundamental mistake and cause of low efficiency of today's approaches to optimize professional activities.

**Key words:** the human factor, professional conduct, safety, efficiency

### Введение

Деятельность, проводимая на федеральном уровне по навигационной безопасности судоходства, основана на выполнении международных конвенций, требований национального законодательства и направлена на повышение уровня безопасности мореплавания и предупреждение аварийности судов. Однако ограниченные ресурсные возможности, а также доминирующие коммерческие интересы усугубляют риск аварий и происшествий. Проведенные анализы в сфере транспортной безопасности показывают, что в целом тенденции аварийности на море сохраняются, а причины возникновения аварийных ситуаций не всегда связаны с недостатками в организации работы судовых экипажей, с их недостаточной профессиональной подготовкой, с пропусками в действиях береговых служб управления и служб технического обслуживания и судоремонта. Специалисты указывают на то, что основными причинами увеличения человеческих ошибок не являются снижение базового уровня подготовки и отсутствие достаточных практических навыков у моряков, а все чаще связаны с воспитанием.

Сейчас считается, что доминирующими на море являются организационные ошибки, но все больше случаев указывает на нарастающий разрыв между сложностью современной техники, психологическими возможностями и ценностными комплексами людей. Руководящая и операторская деятельность на борту судна информационно перегружена и все еще не обеспечена технологиями поддержки управленческих решений, дающими возможность не только для психологической, но и для ценностной диагностики принимаемых решений. За увеличивающимся количеством аварий связанным с учащающимися нарушениями судоводителями требований нормативных документов, с недостаточным знанием динамических характеристик судна, правил плавания

и неадекватностью действий в сложных навигационных и гидрометеорологических условиях, обычно лежит что-то другое. Более глубокий взгляд на проблему показывает, что за всеми перечисленными недостатками (ресурсного, технического, организационно-управленческого, логистического и психологического характера), наблюдается устойчивая тенденция к постепенному увеличению безответственности и недисциплинированности командного и исполнительского состава на флоте. В связи с этим везде и во всем говорят о влиянии так называемого „человеческого фактора“, но что такое „человеческий фактор“ до сих пор все еще никто не сформулировал корректно.

Независимо от широкой популярности этого слово о нем не дают точное определение и в нем не вкладывают какого-то конкретного смысла. Говоря о человеческом факторе обычно хотят указать на то, что человек своим поведением влияет на безопасность и успех осуществляемой им деятельности, но каким образом это происходит, не знает никто [3]. Для исследования влияния человеческого фактора на безопасность и успех осуществляемой деятельности существуют различные подходы [7], но большая часть из них ведёт к составлению очень объемных, сложных, а зачастую и невыполнимых комплексов критериев для экспертной оценки. Пока ясно одно, человек имеет ведущую роль на всех этапах транспортной деятельности. Независимо от того, что человек не является единственным источником ошибок и нарушений, именно он является тем элементом в цепи, который своим решением объединяет в себя все предыдущие действия. Практика показывает, что человек влияет как на состояние технических объектов (качество проектирования и производства), так и на надежность их эксплуатации. Человек либо оценивает, либо сам предопределяет все

условия проведения осуществляемой деятельности [8].

Если охватить все аспекты понятия «человеческий фактор» то становится ясным, что оно является слишком широким и обобщающим и использовать его для объективной оценки профессиональной деятельности невозможно. Только понятие «человеческое поведение», отвечает выше упомянутому смыслу.

Сейчас, исследование *человеческого поведения* [5] ведется в таких направлениях, как изучение «психологии коллектива», «культуры безопасности»; составление «матрицы черт индивида»; диагностирование когнитивных способностей; тестирование личностных свойств человека; исследование отдельных характеристик темперамента; раскрытие человеческих потребностей и др.

Самая важная особенность результатов исследования человеческого поведения сейчас состоит в том, что практически нигде не указывается на какие-либо факторы, которые могут быть *постоянным корректором* для оценки и прогнозирования поведения человека в различных ситуациях. Для того чтобы раскрыть влияние постоянно воздействующих поведенческих факторов, необходимо объединить в единую модель такие разнородные категории, как инстинкты, восприимчивость, чувства, ум, интеллект, личность, духовность, интуиция, воображение, идея, мысль, мораль, воля, интерес и др. [7, 8]. При том сразу бросается в глаза, что эти категории характеризуются недостаточной исследованностью своей природы. Независимо от этого на основании знаний об их функциональности (роли и назначения) и доступной информации об их взаимодействии и динамике их можно объединить в единую модель.

Результаты наблюдений [1], показывают, что есть три базовых фактора безопасности человеческого поведения, которые отражают уровень духовно-личностного развития человека и в значительной мере определяют безопасность его конечных решений. Это – *воля, интерес и мораль*. Базовые факторы безопасности являются основополагающими моментами безопасности всего человеческого поведения и отличаются постоянством и инертностью. Поэтому быстрое и эффективное воздействие на них практически невозможно. Триада «мораль – воля – интерес» находится в единстве и взаимосвязи: если нет морали – воля и интерес ведут к небезопасным действиям; если нет воли – моральные интересы невозможно реализовать; если нет интереса – волю к моральным действиям нельзя приложить в жизни. Перечисленные факторы являются ключевыми факторами, предопределяющими дальнейшую мотивацию человеческого поведения во всех жизненных ситуациях. А факторы, которые сейчас считаются ведущими (когнитивные способности; физические качества; профессиональные знания и умения и психофизиологическая подготовка), на самом

деле могут быть названы *второстепенными (оперативными) факторами*.

Независимо от данной классификации перечисленных факторов видно, что их надо рассматривать только в комплексе. Мораль, воля и интерес являются ключевыми факторами для обеспечения *безопасности* человеческого поведения, но для достижения *успеха* они недостаточны. Только гармоничное развитие человека в моральном, волевом отношении и формирование его интересов, вместе с профессиональной, психологической и физической подготовкой, может являться хорошей основой для будущего успеха его действий. Для достижения высокой результативности и безопасности человеческих действий, *мораль* должна быть подкреплена разносторонними знаниями, опытом, культурой, верой и должна быть глубоко осмысленной, *воля* должна быть постоянной и должна приводить к *упорству*, а *интерес* должен быть высоким и должен приводить к *активности* [4,6].

*Мораль* человека является своеобразной рамкой, в которой могут проявляться свободная воля и разносторонние и изменчивые человеческие интересы, поэтому мораль является фундаментальным фактором безопасности человеческого поведения. Самое трудное сейчас то, как именно (по каким критериям и показателям) нужно оценивать что в профессиональном поведении является моральным и что нет [10].

Сейчас любая человеческая деятельность оценивается по критериям количество, качество достигнутого результата (произведенного продукта, услуги, действия) и прибыль (ущерб) для совершителя или производителя. Подобная оценка достигнутых результатов содержит в себе оценку вложенной человеком воли и отражает проявленный им интерес, но в этой распространенной системе, полностью отсутствует самый важный аспект оценки человеческой деятельности – морально-нравственный аспект. Такая проблема существует во многом из-за того, что только небольшое количество из известных сейчас, моральных качеств человека можно оценить объективно. Оценка по показателям, связанным с моральными качествами, очень сложная, субъективная и, в конечном итоге, некорректная.

Для решения проблемы моральной оценки авторами предлагается новый подход, состоящий в объединении существующих критериев моральной оценке в трех глобальных моральных критериях: *критерий природосообразности* (выражающему отношение человека к природе); *критерий гуманности* (выражающему отношение человека к другим людям) и *критерий проявления долга и ответственности* (выражающий силы моральной убежденности человека). Такой подход сосредотачивает моральную оценку на этих трех, самых важных аспектах человеческого существования, значительно сокращает количество использованных показателей и упрощает дальнейшую методику оценки.

Единственным способом компенсировать

неизбежную субъективность моральной оценки, является сопоставление экспертных оценок с общественной (коллективной) оценкой. Этот факт предполагает подчинения процесса моральной оценки еще одному (четвертому) критерию - критерию „коллективного (общественного) контроля” (выражающему отношение общества к человеку).

Изложенная выше концепция предполагает диагностику качества профессиональной деятельности не проводить как сейчас, только по критериям: образование, социальный статус, возраст, профессиональный опыт, профессионально важные качества, личностные и психофизиологические особенности (темперамент, характер, способности, направленность личности). Подобная оценка дает ответ на вопрос *Что человек может?*, но не дает ответ на вопрос *Что это за человек?* и *Насколько этому человеку можно доверять?*. Поэтому полную оценку деятельности человека необходимо проводить с учетом ее аксиологических (ценностных) характеристик, учитывая не только его профессионализм, но и его “активную жизненную и профессиональную позицию”.

Для решений этих проблем разработано программное обеспечение [ ] для аксиологической аттестационной оценки профессиональной деятельности транспортных специалистов, где инспекция проводится отдельными экспертами или экспертной группой в процессе обучения и работы, по восьми взаимосвязанным критериям: профессионализм, отношение к людям, отношение к природе, ответственность, воля, интерес, психофизиологические качества и способности, коллективная (общественная) оценка (рис. 2, 3).



**Рис. 2 Критерии оценки кадров с учетом аксиологического (ценностного) аспекта их деятельности**

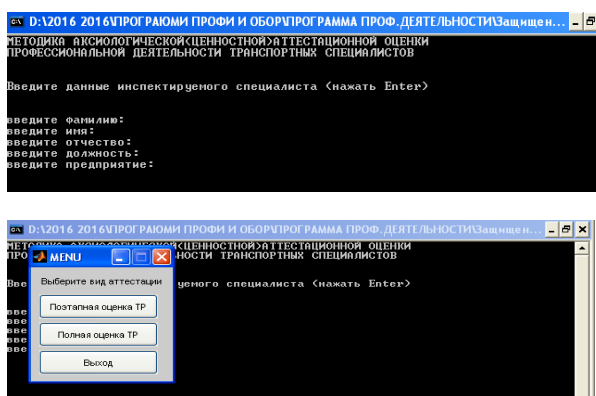
При этом оценка по критериям профессионализм, психофизиологические качества и способности отражает, до какой

степени поведение человека соответствует профессиональным требованиям. Оценка по критериям отношение к людям, отношение к природе и ответственность, выражает степень доверия к человеку, а оценка по критериям воля и интерес выражает его отношение к выполняемой работе. Все профессионально-личностные, морально-этические качества и способности человека здесь учитываются как суммарный результат экспертной и коллективной оценки.

Данная компьютерная программа [11] предусматривает, что транспортные специалисты и руководители могут пройти четыре вида аттестаций, дающие им возможность получить допуск к работе на каждом отдельном этапе: планирование и организация профессиональной деятельности, работа в нормальной обстановке, действия в экстремальной обстановке, аттестат для успешного окончания года (полная аттестация) и допуск к продвижению по службе:

Аттестацию на этапе планирования и организации профессиональных действий (АПОПД) целесообразно проводить после прохождения соответствующего цикла подготовки. Аттестация допускает работника к аттестации работы в нормальной обстановке.

Аттестация на этапе работы в нормальной обстановке (АРНО) проводится после АПОПД и прохождения соответствующего цикла подготовки по усвоению обязанностей для работы в нормальной обстановке. Аттестация дает право на работу в нормальной обстановке и допускает к аттестации действий в экстремальной обстановке.



**Рис. 3 Начальный вид листа в среде MATLAB для введения данных о инспектируемом специалисте и выбора вида аттестации**

Аттестацию для допуска к действиям в экстремальной обстановке (АДЭО) – можно проводить после прохождения АПОПД, АРНО и прохождения соответствующего цикла подготовки в экстремальной обстановке. Аттестация дает право на действий в экстремальной обстановке и на прохождении полной годовой аттестации.



Полная аттестация (ПА) проводится в конце года с целью подведения итогов профессиональной подготовки. Полная аттестация, так же, дает право на продвижение по службе. В этом контексте она должна проходить с учетом требований нового предполагаемого рабочего места и новых обязанностей и должна выявить потенциальные возможности сотрудника на новой должности.

По каждому виду аттестации, в зависимости от поставленных задач, эксперты могут выбрать одно из следующих разновидностей проверки:

1. Проверка знаний и умений – включает проверку знаний по специальности, знаний устройства эксплуатируемых технических средств, знаний обязанностей по отдельным расписаниям, знаний руководящих документов, знаний аварийно-спасательного оборудования (АСО), знаний норм технического обслуживания и эксплуатации, правил и т. п.. Она проводится путем экзаменования, тестирования и проверки умений выполнять отдельные действия по обслуживанию технических средств.

2. Проверка навыков – включает проверку практических действий во время тренажерного обучения, учебной практики или в реальных эксплуатационных условиях.

3. Комплексная проверка - включает целостную проверку знаний, умений и навыков специалиста (руководителя) в аудиторных, тренажерных и реальных эксплуатационных условиях.

Аттестация становится итогом работы комиссии, а также основой для принятия решения по поводу дальнейших перспектив транспортного работника. Окончательным решением по аттестации становится решение руководителя комиссии при участии руководителя подразделения. Затем, с учетом оценок и рекомендаций, принимается решение о дальнейшем профессиональном развитии работника.

Программное обеспечение аксиологической аттестационной оценки профессиональной деятельности транспортных специалистов, может быть использовано для всех специалистов транспорта, в удобном для программирования и электронной обработки результатов виде. В этом случае, она является только одним из возможных вариантов решения проблемы с математической обработкой большого количество субъективных данных. Реализованная в программном виде методика отражает наиболее общие принципы и положения, составляющие основу авторского подхода. В зависимости от профессиональной специфики, она допускает изменение количества и содержания предложенных показателей и может включать дополнительные математические модули для вычисления заданных параметров.

## Заключение

Представленная выше концепция относительно факторов, влияющих на решения и формирование целостного профессионального поведения морских специалистов приводит к следующим выводам:

- есть мощные устойчивые поведенческие характеристики, которые не зависят от momentного состояния человека, конкретных условий и продолжительности работы. в нормальных и в экстремальных условиях. Приоритетными факторами, предопределяющими логику формирования поведения человека, являются мораль, воля и интерес;

- раскрытая система факторов и связанная с ним система критериев дает реальную возможность выйти из лабиринта оценки огромного количества психофизиологических показателей, связанных с сенсорно-перцептивными, психомоторными, аттенционными, мыслительными, имажинитивными свойствами человека, со свойствами нервной системы, особенностями когнитивного стиля, и понять общие закономерности формирования поведения человека, независимо от конъюнктуры;

- сделанные выводы коренным образом меняют существующие понимания, в какую сторону необходимо направить усилия в сфере профессионального подбора, образования и науки. Сейчас эти усилия направлены прежде всего на производство высокоподготовленных специалистов с хорошо развитыми качествами и способностями, но не понимающими законов природы и невоспитанными в уважении к ней и людям. Такой подход ведет всего лишь к слабому, временному и иллюзорному эффекту повышения качества и безопасности осуществляемой профессиональной деятельности;

- для решения проблемы с изменением поведения морских специалистов к лучшему необходимы определенные средства: интеллектуальные, управленческие, организационные, административные и меньше всего финансовые. Но все необходимые средства могут быть найдены только тогда, когда моральные качества в морской профессии будут реально востребованы, и только тогда, когда возникнет нужное понимание, что любое дисгармоничное развитие специалистов и руководителей неизменно ведет их по замкнутым кругам неэффективности и небезопасности.

## Благодарности

Публикация выполнена в рамках государственного задания №8.7141.2017/БЧ Минобрнауки России  
The research work was supported by The Ministry of Education and Science of the Russian Federation (task #8.7141.2017)

**Литература**

1. Лукомский Ю.А., Стариченков А.Л. Прогнозирование устойчивости движения судов с динамическими принципами поддержания // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2004. – № 1 (серия «Автоматизация и управление»). – с.13-17.
2. Евсеенко С.М., Скороходов Д.А. О степени интеллектуализации, роботизации и интегрированной оценки управления организационно-технологическими процессами предприятия и корабля // Научный журнал «Морские интеллектуальные технологии», Россия, Санкт-Петербург, №4(22)2013. – с.53-60.
3. Лукомский Ю.А., Скороходов Д.А., Стариченков А.Л. Обеспечение безопасности водных транспортных средств // СПб.: Из-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 244 с.
4. Маринов М.Л. Ситуационное моделирование безопасности человеческого поведения с использованием функционально-психологической модели // Морской вестник. – 2009. - №4. – с.75-78.
5. Маринов М.Л., Малыгина Е. А. Роль человеческого фактора в проблеме транспортной безопасности // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2013. – №2(26). – с.19 – 26.
6. Маринов М.Л. Проблемы и перспективы оценки поведения руководителей и специалистов в профессиональной сфере // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2015. – №4(39). – с.215-224.
7. Скороходов Д. А. Функции и режимы интегрированных систем управления // СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. 84 с.
8. Скороходов Д.А., Стариченков А.Л. Методика оценки эффективности комплексной безопасности транспортной компании // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы», выпуск №2 (2015).- с.24-29.
9. Higgins A., Koucky S. Go-anywhere rescue hovercrafts. // Machine design. – 2001. – №10. – P. 26.
10. Sira-Ramirez H., Ibanez C.A. On the control of the hovercraft system // Dynamics and control. – 2000. – №2. – PP. 151-163.
11. Маринов М.Л. Методика аксеологической (ценностной) аттестационной оценки профессиональной деятельности транспортных специалистов. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. №2016617840 от 14 июля 2016.

**References**

1. Lukomskij Ju.A., Starichenkov A.L. Prognozirovanie ustojchivosti dvizhenija sudov s dinamicheskimimi principami podderzhanija // Izvestija SPbGJeTU «LJeTI». – 2004. – № 1 (serija «Avtomatizacija i upravlenie»). – s.13-17.
2. Evseenko S.M., Skorokhodov D.A. O stepeni intellektualizacii, robotizacii i integrirovannoy ocnki upravleniya organizacionno-tehnologicheskimi processami predpriyatiya i korablya // Nauchiy zhurnal «Morskie intellektualnye tehnologii», Rossiya, Saint-Petersburg, №4(22)2013. – s.53-60.
3. Lukomskiy Ju.A., Skorokhodov D.A., Starichenkov A.L. Obespechenie bezopasnosti transportnih sredstv // SPb.: Iz-vo SP,GETU «LETI», 2012. 244 s.
4. Marinov M.L. Situacionnoe modelirovanie bezopasnosti chelovecheskogo povedenija s ispol'zovaniem funkcional'no-psihologicheskoy modeli // Morskoj vestnik. – 2009. - №4. – s.75-78.
5. Marinov M.L., Malygina E. A. Rol' chelovecheskogo faktora v probleme transportnoj bezopasnosti // Problemy upravlenija riskami v tehnosfere. – 2013. – №2(26). – s.19 – 26.
6. Marinov M.L. Problemy i perspektivy ocenki povedenija rukovoditelej i specialistov v professional'noj sfere // Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – №4(39). – s.215-224.
7. Skorokhodov D.A. Funkcii i rezhimi integrirovannih system upravleniya // SPb.: Izd-vo SPbGETU «LETI», 2010. 84 s.
8. Skorokhodov D.A., Starichenkov A.L Metodika ocenki effektivnosti kompleksnoy besopasnosti transportnoy kompanii // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sanrt-Peterburgsrjuj universiteta gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhbi», vipusk №2 (2015).- s.24-29.
9. Higgins A., Koucky S. Go-anywhere rescue hovercrafts. // Machine design. – 2001. – №10. – P. 26.
10. Sira-Ramirez H., Ibanez C.A. On the control of the hovercraft system // Dynamics and control. – 2000. – №2. – PP. 151-163.
11. Marinov M.L. Metodika akseologicheskoy (cennostnoy) attestacionnoy ocnki professionalnoy deyatel'nosti transportnih specialistov. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registracii program dlya EVM. №2016617840 от 14 iyulya 2016.



## Научный журнал МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

190121 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д.3

e-mail: mit-journal@mail.ru www.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 – инструкция прилагается ниже
3. Одна рецензия на публикуемую статью по соответствующей специальности с подписью, заверенной гербовой печатью. При междисциплинарном исследовании предоставляются две рецензии от экспертов различных областей наук по соответствующей тематике.
4. Акт экспертизы на открытую публикацию (при необходимости)
5. Лицензионный договор

Перечисленные документы (кроме акта экспертизы) могут быть переданы в редакцию по электронной почте по адресу [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru) (по этому же адресу осуществляется текущая переписка с редакцией).

По желанию авторов, документ 1 в бумажной версии и компакт-диск с документами 2 и 3 могут быть либо присланы по почте в адрес редакции, либо доставлены непосредственно в редакцию, либо переданы одному из членов редколлегии. Оригинал акта экспертизы должен быть либо прислан по почте в адрес редакции, либо доставлен непосредственно в редакцию, либо переданы одному из членов редколлегии.

**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 может быть специалист по профилю статьи с ученой степенью не ниже кандидата наук.

Редколлегия не вступает с авторами в обсуждение соответствия их статей тематике журнала.

**Журнал публикуется в цветном варианте.**

**Плата с аспиранта в случае, если он является единственным автором, за публикацию статьи не взимается.**

**Стоимость публикации 9000 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.

УДК 629.12.001.2

## ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ ДЛЯ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

**Никитин Николай Васильевич**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования судов  
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет  
190008, Санкт-Петербург, ул. Лощманская, 3  
e-mail: morintex\_spb@mail.ru

### Аннотация

В работе предлагаются правила оформления статей для научного журнала «Морские интеллектуальные технологии» в текстовом процессоре MS Word 97-2003 по требованиям для публикации в научном журнале ВАК, а также международных реферативных баз данных Scopus и Web of Science. Инструкция представляет собой специальную заготовку, которая служит базисом для создания конкретной статьи.

Аннотация предоставляется авторами в расширенном виде. Объем: не менее 950 и не более 1800 знаков (с пробелами), то есть 100-250 слов. В аннотации должны быть четко определены цель работы, ее новизна, представлены основные выводы. Языки – русский и английский.

Типичная структура аннотации: состояние вопроса; материалы и/или методы исследования, результаты; заключение.

Методы в аннотации только называются. Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и выводам, которые, по мнению автора статьи, имеют практическое значение. Следует указать пределы точности и надёжности данных, а также степень их обоснования. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.

**Ключевые слова:** Список ключевых слов должен характеризовать предметную область исследования. Недопустимо использование терминов общего характера (например, проблема, решение), не являющихся специфической характеристикой публикации. Количество ключевых слов должно быть 8-10.

## GUIDELINES FOR PREPARATION OF ARTICLES FOR THE ACADEMIC PERIODICAL «MARINE INTELLIGENCE TECHNOLOGIES»

**Nikitin Nikolay Vasilevich**

the professor, Dr.Sci.Tech.,  
the professor of department of ship design  
State marine technical university of Saint-Petersburg  
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation  
e-mail: morintex\_spb@mail.ru

### Abstract

The paper suggests rules for formatting articles to be submitted for the "Maritime Smart Technologies" academic periodical in the MS Word Processor 97-2003 according to the requirements set out for publication in an academic periodical of the State Commission for Academic Degrees and Titles as well as in the international Scopus and Web of Science bibliographic databases. The guidelines represent a special template which serves as a basis for creation of a certain article.

The authors should submit an extended abstract. The abstract should contain minimum 950 and maximum 1800 characters (including spaces), i. e. 100–250 words. The abstract must cover the objective and novelty of the paper and reflect the main conclusions. The languages of the abstract should be Russian and English.

The standard structure of an abstract is as follows: the state-of-the-art summary; data for study and/or research techniques; findings; conclusion.

The techniques should only be mentioned in the abstract. The findings should be described as accurately and informatively as possible. The major theoretical and experimental results, actual data, discovered interrelations and common factors should be reflected. Still new results and conclusions which, from the author's point of view, are of practical importance are put above. The data accuracy and reliability limits as well as the degree of their verification should be indicated. The conclusions can be accompanied by recommendations, estimations, suggestions described in the article.

**Key words:** The list of key words must be specific for the subject field of the investigation. General terms (e. g. problem, solution) which are not specific for this publication are inadmissible. The key words should amount to 8–1.

### Введение

При подготовке статей у авторов нередко возникают трудности, связанные с необходимостью жестко выдерживать требуемые форматы подготовки текстов.

Вместе с тем, в современных текстовых процессорах существуют развитые средства поддержки общезначимых и специализированных шаблонов, автоматизирующих эту деятельность. Учитывая вышесказанное, автор данной инструкции подготовил специализированный шаблон создания *camera ready* текстов статей, представляемых в редакцию.

Данная инструкция не обычный текст, а заготовка, которую авторы работ, представляемых в журнал, должны редактировать для получения качественных текстов статей.

**Обращаясь к авторам, редакция журнала доводит до их сведения требования к оформлению статей. Суть их сводится к тому, что, с одной стороны, предоставленная авторами информация должна быть интересной и понятной международному научному сообществу без обращения к полному тексту статьи. а с другой – должны быть обеспечены возможности контекстного поиска и аналитической обработки данных.**

**Фамилии авторов** должны быть транслитерированы, или указаны так же, как в ранее опубликованных в зарубежных журналах статьях. Должны быть представлены адресные сведения о месте работы авторов, должность, ученая степень и ученое звание.

Название организации переводится на английский язык без составных частей названий организаций, обозначающих принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации с указанием полного юридического адреса в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна. Наиболее полный список названий учреждений и их официальной англоязычной версии можно найти на сайте НЭБ eLibrary.ru. Название статьи, ключевые слова и аннотация также переводятся на английский язык. Все переводы должны быть высококачественными.

**Название статьи** должно быть информативным, можно использовать только общепринятые в международном научном общении сокращения. В переводе названия недопусти-

мы транслитерации с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Англоязычное название должно быть грамотно с точки зрения английского языка, при этом по смыслу полностью соответствовать русскоязычному названию.

Обращаем внимание авторов на необходимость обеспечить высокое профессиональное качество перевода на английский язык. Автоматизированный перевод с помощью программных систем категорически запрещается! При обнаружении экспертом Редакции низкого качества перевода статья отклоняется!

Возможности систем SCOPUS и Web of Science позволяют проводить исследования: по ссылкам, оценивать значение и признание работ конкретных авторов, научный уровень журналов, организаций и стран в целом, определять актуальность научных направлений и проблем, выявлять их точки роста и падения и т.д. Ссылка на публикацию в научной статье является одним из главных показателей качества публикации. А статья с представительным списком литературы демонстрирует профессиональный кругозор и качественный уровень исследований ее авторов

Полный текст должен быть структурированным по разделам. Структура полного текста рукописи, посвященной описанию результатов оригинальных исследований, должна соответствовать общепринятому шаблону и содержать разделы: введение (актуальность), цель и задачи, материалы и методы, результаты, выводы, обсуждение (дискуссия).

### 1. Инсталляция заготовки Mor-Inst

Вы получили по электронной почте (или некоторым другим способом) файл **Mor-Inst.doc** и должны использовать его на своем текстовом процессоре MS Word 97-2003.

Для того, чтобы начать работу необходимо: скопировать на Ваш компьютер файл **Mor-Inst.doc**, переименовав его под фамилией первого автора (например, **nikitin.doc**).

После выполнения этих действий Ваш текстовый процессор MS Word 97-2003 готов для

создания документа в формате samera ready для оформления номера.

## 2. Начало работы с заготовкой Mor-Inst

Итак, предположим, что Вы скопировали заготовку **Mor-Inst.doc** для своего текстового процессора MS Word 97-2003, как это определено в предыдущем разделе данной инструкции.

Теперь, после вызова текстового процессора MS Word 97-2003, из опции основного меню **File (Файл)** выбирайте подопцию **Open (Открыть)**, а на приглашение выбрать файл отметьте **nikitin.doc** и нажмите клавишу **OK**.

После этого Ваш текстовый процессор откроет документ с данной заготовкой, который существенно облегчит Вашу дальнейшую работу.

Дальнейшая подготовка статьи очень похожа на редактирование "чужого" текста и преобразование его к виду, когда он станет Вашим.

В оставшейся части настоящей инструкции последовательно обсуждаются все основные

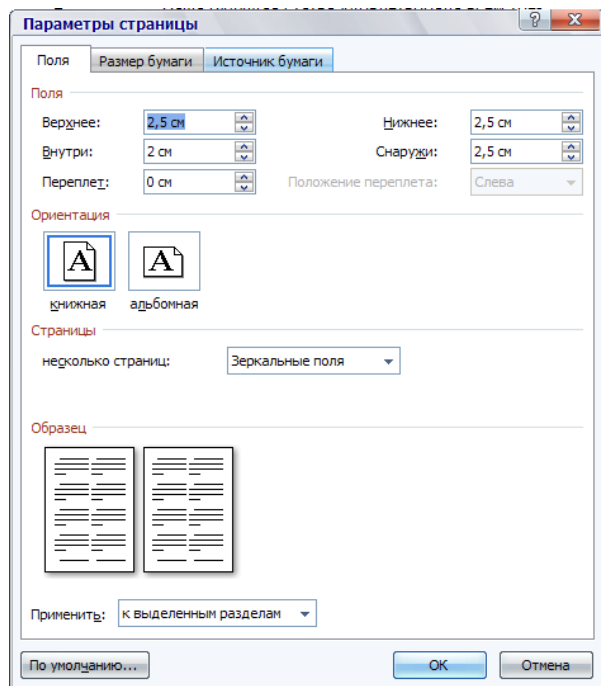


Рис. 1. Общий Layout страницы

Основной текст набирается в 2 колонки, промежуток между колонками 0,7 мм; ширина колонки 7,9 мм.

Нумерация страниц подготавливаемой работы не производится.

Каждая статья должна быть организована следующим образом (данный sampler сам является примером нужной организации текста статьи)

- УДК.
- Заголовков работы.
- Для каждого автора статье:

**Фамилия Имя Отчество**

ученое звание, ученая степень,

элементы, которые могут потребоваться при подготовке Вашей статьи.

Обратите внимание на то, что сами элементы заготовки уже выбраны таким образом, чтобы Ваша будущая статья удовлетворяла всем требованиям оформления samera ready текстов для публикации в журнале.

## 3. Основные правила подготовки статей на базе шаблона Mor-Inst

### 3.1. Общие замечания по объему и формату статьи

По решению редакции объемы принимаемых к публикации материалов должны отвечать следующим ограничениям

- объем статьи должен быть не более 5 стр.;
- текст доклада должен укладываться в целое число страниц.

Все материалы должны быть сформатированы для последующей печати на стандартных листах формата А4 со следующим Layout (Параметрами страницы) (рис. 1).

должность

Место работы

Адрес работы (или проживания для неработающих)

E-mail

### Все кеглем 9 все в именительном падеже

– Если авторов несколько, их фамилии упорядочиваются по алфавиту.

– Аннотация работы (не менее 950 и не более 1800 знаков (с пробелами), то есть 100-250 слов).

– Ключевые слова (8-10).

– Разделы и подразделы основного текста (нумерация сквозная арабскими цифрами у разделов и номер раздела + нумерация сквозная арабскими цифрами у данного подраздела; номер раздела и номер подраздела отделяются друг от друга точкой; после номера раздела (подраздела) ставится точка, а название раздела (подраздела) начинается с заглавной буквы, после заголовков точка не ставится).

– В конце работы (перед списком литературы) может быть нenumерованный раздел **Благодарности**, где, как правило, указываются спонсоры (например, номер гранта РФФИ) данной работы.

– Список использованных источников, собранных в нenumерованном разделе **Литература** – После списка литературы размещается список литературы в романском алфавите в нenumерованном разделе **References**

– Все заголовки разделов и подразделов центрируются.

– Ссылки на литературу в тексте работы заключаются в квадратные скобки и даются сквозной нумерацией арабскими цифрами.

**Заголовок работы, ФИО, ученое звание, ученая степень, должность, организация, адрес авторов (телефон и электронный адрес, если имеется), аннотация работы и ключевые**

слова публикуются на русском и английском языках.

3.3. Шрифты, используемые при подготовке статьи

Все шрифты, используемые при подготовке статьи, выбираются из набора **Arial**. Если Вы пользуетесь данным sample'ом, все размеры будут выставлены правильно и Вам останется только следовать им. Если же Вы пользуетесь твердой копией данного sample'a, то используйте следующие размеры шрифтов:

- для названия статьи **Arial 13 прописной, жирный**;
- для УДК и идентификации автора (ов) статьи **Arial 9 курсив**;
- для адреса (ов) автора (ов) статьи **Arial 11**;
- для аннотации **Arial 9, границы текста +10 мм слева и -10 мм справа**;
- для текста статьи **Arial 9,5, абзацный отступ 5 мм**;
- для списка литературы **Arial 10,5, жирный, по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;
- для заголовков разделов статьи **Arial 10,5, жирный по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;
- для заголовков подразделов статьи **Arial 9,5, курсив по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;
- для подрисуночных подписей **Arial 8,5, курсив, по центру, интервал сверху 4 пт, снизу 9,5 пт, абзацный отступ 0**;
- для подстраничных ссылок **Arial 8,5, абзацный отступ 0,5**.

4.3. Использование графического материала

В работе допускается использование рисунков, схем, экранных форм и др. графических материалов (обратите внимание на то, чтобы рисунки сохранялись как **цветные** или **черно-белые картинки**) как **внедренных объектов**<sup>1</sup>. Каждое графическое изображение должно представлять собой **единый, цельный** объект.

По возможности используйте для графического материала минимально требуемое разрешение. Это существенно уменьшает объем пересылаемого материала.

Во всех случаях обращайтесь внимание на то, чтобы текстовые подписи на рисунках были набраны с использованием тех же шрифтов, что и основной текст и меньшим размером.

<sup>1</sup> Статьи с рисунками, нарисованными в тексте документа с помощью панели "Рисование" MS Word 97-2003, рассматриваются редакцией в индивидуальном порядке по согласованию с авторами статей.

3.2. Использование таблиц

В работе допускается использование таблиц, подготовленных стандартными средствами MS Word 97-2003. В качестве примера ниже дается представление таблицы, подготовленной с помощью этих средств (табл. 1).

Таблица набирается меньшим кеглем.

Слово таблица **Arial 8,5, курсив, вправо, абзацный отступ 0**.

Название таблицы **Arial 8,5, жирный, по центру, интервал снизу 4 пт, абзацный отступ 0**.

Текст в таблице **Arial 8,5**.

Таблица 1

Пример таблицы

N/ N	Колонка- 1	Колонка- 2	Колонка- 3	Колонка- 4	Колонка- 5
1.	фффф	ыыыы	111	Ммм	тттт
2.	фффф	ыыыы	111	Ммм	тттт
3.	фффф	ыыыы	111	Ммм	тттт
4.	фффф	ыыыы	111	Ммм	тттт

Перед и после таблицы одна пустая строка основного текста.

**ФОРМУЛЫ И РИСУНКИ НЕ РАЗМЕЩАТЬ В ТАБЛИЦЕ!!!**

3.4. Использование формул

В работе допускается использование формул любой сложности, поддерживаемых компонентой MS Equation.

Если формула появляется в тексте как отдельная строка, она должна быть центрирована и, при необходимости, помечена сквозной нумерацией арабскими цифрами в круглых скобках. Если формула появляется внутри текста, обращайте внимание на размеры используемых шрифтов, чтобы они были «состыкованы» с размерами текста работы.

Ниже приводятся примеры формул в тексте и в отдельной строке.

Данный пример иллюстрирует использование формулы в тексте  $\sum_{n=1}^{n=K} x_n^k \cdot 1,25$ . Здесь при подготовке формулы использованы установки шрифтов by default (по умолчанию). По возможности, пользуйтесь этим способом для подготовки не только формул в тексте статьи, но формул в отдельной строке (1).

$$\forall x \in [a, b] F(x) \leq \varpi \quad (1)$$

Все формулы набираются тем же шрифтом, что и основной текст.

**ФОРМУЛЫ НЕ СОХРАНЯТЬ КАК РИСУНОК!!!**

Если же это, по каким-либо причинам неудобно и/или невозможно, воспользуйтесь установками, приведенными на рис. 2.

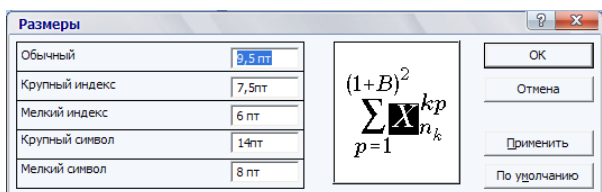
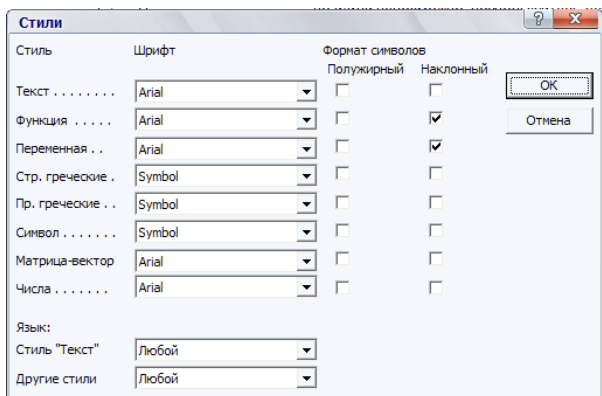


Рис. 2. Установки шрифтов и размеров в MS Equation

Обратите внимание на то, что при наборе формул в тексте, возможно изменение «интервальности». Не бойтесь этого и не пытайтесь уменьшить размер используемого шрифта до нечитаемого уровня. Аналогичное замечание справедливо и для формул, располагаемых в отдельной строке.

3.5. Размещение элементов текста на две колонки

Если таблицы, формулы, рисунки превышают размер одной колонки, то их размещают на **полный формат** (на 2 две колонки).

При этом сохраняются все требования по шрифтам и размерам к этим элементам, когда они набраны на формат одной колонки.

Таблица 2

Пример таблицы на полный формат

N/N	Колонка-1	Колонка-2	Колонка-3	Колонка-4	Колонка-5
1.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ
2.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ
3.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ
4.	фффф	ЫЫЫЫ	111	МММ	ТТТТ

Пример формулы на полный формат:

$$N_y(t) = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left[ \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R} + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{\partial w_0}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} \right] = \frac{Eh}{1-\mu^2} \xi(t). \tag{2}$$

Пример рисунка на полный формат:

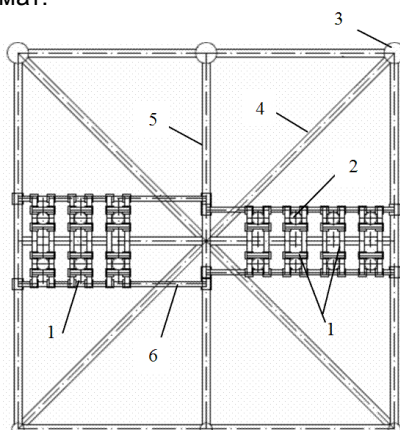


Рис. 3. Раскрепление водоотделяющих колонн с помощью жестких рам (видв плане на диафрагму МСП): 1 – жесткие рамы; 2 – водоотделяющие колонны; 3 – вертикальные стойки опорного блока; 4 – раскосы опорного блока; 5 – распорка опорного блока; 6 – фундамент жесткой рамы



### Заключение

Автор данной инструкции руководствовался единственной целью – уменьшить авторам сложность подготовки статей для журнала.

### Дополнительная информация (на русском, английском или обоих языках)

Информация о спонсорстве. Необходимо указывать источник финансирования как научной работы, так и процесса публикации статьи (фонд, коммерческая или государственная организация и др.). Указывать размер финансирования не требуется.

Благодарности. Авторы могут выразить благодарности людям и организациям, способствовавшим публикации статьи в журнале, но не являющимся её авторами

### Литература

В библиографии (пристатейном списке литературы) каждый источник следует помещать с новой строки под порядковым номером. Список литературы должен быть оформлен по ГОСТ Р 7.05-2008.

### Литература и References пишутся в одну колонку без переносов

#### References

Список литературы на русском языке **КРОМЕ ТОГО** должен быть представлен и в романском алфавите (латинице), то есть, транслитерирован, (транслитерация – это побуквенная передача текста, написанного с помощью русского алфавита, средствами латинского алфавита), список литературы на других языках должен быть приведен на языке оригинала.

Вся транслитерация списка литературы должна быть выполнена в соответствии с системой Госдепартамента США, которая в настоящее время является наиболее распространенной.

Автоматизировать процесс транслитерации можно, воспользовавшись программным обеспечением, которое доступно по адресу [www.translit.ru](http://www.translit.ru) (в раскрывающемся списке «Варианты» выбираем вариант BGN).

Транслитерированная литература должна быть сформатирована следующим образом.

Структура библиографической ссылки на статью:

**Author, A. A., Author, B. B., & Author, C. C. (2005).**

**Title of article. Title of Journal, 10(2), 49-53.**

#### **Материалы конференций:**

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi" (Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact"). Moscow, 2007, pp. 267-272.

#### **Книги (монографии, сборники, материалы конференций в целом):**

Belaya kniga po nanotekhnologiyam: issledovaniya v oblasti nanochastits, nanostruktur i nanokompozitov v Rossiiskoi Federatsii (po materialam Pervogo Vserossiiskogo soveshchaniya uchenykh, inzhenerov i proizvoditelei v oblasti nanotekhnologii [White Book in

Nanotechnologies: Studies in the Field of Nanoparticles, Nanostructures and Nanocomposites in the Russian Federation: Proceedings of the First All-Russian Conference of Scientists, Engineers and Manufacturers in the Field of Nanotechnology]. Moscow, LKI, 2007.

Nenashev M.F. Poslednee pravitel'stvo SSSR [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

From disaster to rebirth: the causes and consequences of the destruction of the Soviet Union [Ot katastrofy k vozrozhdeniju: prichiny i posledstvija razrushenija SSSR]. Moscow, HSE Publ., 1999. 381 p.

Kanevskaya R.D. Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov (Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development). Izhevsk, 2002. 140 p.

Latyshev, V.N., Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye

**Ни в одном из зарубежных стандартов на библиографические записи не используются разделительные знаки, применяемые в российском ГОСТе («//» и «-»). Название источника и выходные данные отделяются от авторов и заглавия статьи типом шрифта, чаще всего, курсивом (italics), точкой или запятой.**

## Шаблон для сопроводительного письма авторов

В редакцию журнала  
" МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ "  
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

### СОПРОВОДИТЕЛЬНОЕ ПИСЬМО

Просим опубликовать в журнале " МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ " статью <заголовок статьи>.

Авторами статьи являются <перечень Ф.И.О. авторов полностью>.

Работа выполнена в <полное и сокращенное название учреждения (учреждений)>.

Текущую переписку по вопросам публикации статьи следует вести с <Фамилия И.О.>.

Координаты для обратной связи:

1. Почтовый адрес (с индексом)

2. E-mail

3. Тел. служебный и домашний (с кодом города)

Авторы подтверждают, что статья ранее не была где-либо опубликована, и берут на себя ответственность за возможные нарушения авторских прав третьих лиц.

Материал выверен, цифры, факты, цитаты сверены с первоисточником, материал не содержит сведений ограниченного распространения.

Авторы дают согласие на редактирование статьи, а также на использование её полнотекстовой версии путем размещения на официальном сайте научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ" включения в различные базы данных и информационные системы.

Авторы разрешают использовать указанные в статье персональные данные и дают согласие на их опубликование.

Авторы согласны с тем, что редакция имеет право на литературное редактирование и доведение статьи до редакторских стандартов, принятых в рамках журнала.

Авторы разрешают публикацию статьи в открытом доступе на электронных ресурсах в PDF-формате и прилагают лицензионный договор от каждого автора(соавтора) статьи.

Подпись

<Дата>

## Шаблон рецензии

В редакцию журнала  
" МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ "  
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

### РЕЦЕНЗИЯ

Статья: <Заголовок статьи>.

Статья:<Фамилии И.О. авторов>

#### I. Информация для редакции

1. Соответствие статьи тематике журнала:
  - статья соответствует тематике журнала (да/нет)
  - если нет, то какие альтернативные журналы могут быть предложены авторам для рассмотрения?
2. Оригинальность и значимость результатов статьи (да/нет/другие оценки):
  - результаты оригинальны
  - результаты имеют научную значимость
  - результаты имеют практическую значимость
3. Качество изложения материала статьи (да/нет/другие оценки):
  - является ли аннотация достаточно информативной
  - понятность изложения статьи
  - следует ли сократить размер статьи
  - ясно ли указана цель статьи
  - адекватно ли определено место статьи в круге других работ
  - можно ли понизить степень подробности математических выкладок
  - адекватен ли список цитированной литературы
  - все ли рисунки и таблицы уместны
  - имеются ли ошибки и технические погрешности
  - строгость изложения математических и экспериментальных результатов
  - достаточно ли обоснованы результаты и выводы статьи
4. Заключение (да/нет)
  - статья может быть принята для публикации без доработки
  - статья требует доработки и повторного рецензирования
  - статья не может быть принята для публикации
  - статью следует передать другому специалисту на рецензирование
5. Замечания и рекомендации по статье для членов редколлегии

Должность, ученое звание и научная степень

<Дата>

<Подпись рецензента>

#### II. Замечания и рекомендации по статье для авторов

Лицензионный договор № \_\_\_\_\_  
г. Санкт-Петербург «\_\_» \_\_\_\_\_ 20 года

Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВА-ТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»), именуемое в дальнейшем "Лицензиат", в лице заместителя генерального директора-главного редактора научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» Никитин Николая Васильевича, действующего на основании Доверенности № 1-59, удостоверенной нотариусом Санкт-Петербурга Володиным А.В. 21.01.2014г, с одной стороны, и **Гражданин РФ** \_\_\_\_\_, именуемый в дальнейшем "**Лицензиар**", с другой стороны, именуемые в дальнейшем "**Сторона/Стороны**", заключили настоящий договор (далее - "**Договор**") о нижеследующем.

#### 1. Предмет Договора

1.1. По настоящему Договору **Лицензиар** на безвозмездной основе предоставляет **Лицензиату право** использования \_\_\_\_\_

(наименование, характеристика передаваемых материалов)

именуемого в дальнейшем "**Произведение**", на основе неисключительной лицензии в обусловленных Договором пределах и на определенный Договором срок.

1.2. **Лицензиар** гарантирует, что он обладает исключительными авторскими правами на передаваемое **Лицензиату** Произведение.

#### 2. Права и обязанности Сторон

**2.1. Лицензиар предоставляет Лицензиату на весь срок действия исключительных прав на Произведение следующие права:**

2.1.1. право на воспроизведение Произведения (опубликование, обнародование, дублирование, тиражирование или иное размножение Произведения) без ограничения тиража экземпляров. При этом каждый экземпляр Произведения должен содержать имя **автора** Произведения;

2.1.2. право на распространение Произведения любым способом;

2.1.3. право на включение в составное произведение;

2.1.4. право на доведение до всеобщего сведения;

2.1.5. на использование метаданных (название, имя автора (правообладателя), аннотации, библиографические материалы и пр.) Произведений путем распространения и доведения до всеобщего сведения, обработки и систематизации, а также включения в различные базы данных и информационные системы.

2.1.6. право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему договору права третьим лицам без выплаты **Лицензиару** вознаграждения.

2.2. **Лицензиар** передает права **Лицензиату** по настоящему Договору на основе неисключительной лицензии.

2.3. **Лицензиар**, в течение трех рабочих дней обязан предоставить **Лицензиату** Произведение в **электронной версии в формате инструкции по подготовке статей для научного журнала «Морские интеллектуальные технологии» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»)** для ознакомления. В течение 30 (тридцать) рабочих дней, если **Лицензиатом** не предъявлены к **Лицензиару** требования или претензии, связанные с качеством (содержанием) или объемом предоставленному для ознакомления Произведению, Стороны подписывают Акт приема-передачи Произведения.

2.4. Дата подписания Акта приема-передачи Произведения является моментом передачи **Лицензиату** прав, указанных в настоящем Договоре.

2.5. **Лицензиат** обязуется соблюдать предусмотренные действующим законодательством авторские права, права **Лицензиара**, а также осуществлять их защиту и принимать все возможные меры для предупреждения нарушения авторских прав третьими лицами.

2.6. Территория, на которой допускается использование прав на Произведения, не ограничена.

2.7. **Лицензиар** также предоставляет **Лицензиату** право хранения и обработки следующих своих персональных данных без ограничения по сроку:

- фамилия, имя, отчество;
- дата рождения;
- сведения об образовании;
- сведения о месте работы и занимаемой должности;
- сведения о наличии опубликованных произведений литературы, науки и искусства.

Персональные данные предоставляются для их хранения и обработки в различных базах данных и информационных системах, включения их в аналитические и статистические отчетности, создания обоснованных взаимосвязей объектов произведений науки, литературы и искусства с персональными данными и т.п.

**Лицензиат** имеет право передать указанные данные для обработки и хранения третьим лицам при условии уведомления о таком факте с предоставлением сведений о третьем лице (наименование и адрес) **Лицензиару**.

Отзыв согласия на хранение и обработку персональных данных производится **Лицензиаром** путем направления соответствующего письменного уведомления **Лицензиату**.

### 3. Ответственность Сторон

3.1. **Лицензиар** и **Лицензиат** несут в соответствии с действующим законодательством РФ имущественную и иную юридическую ответственность за неисполнение или ненадлежащее исполнение своих обязательств по настоящему Договору.

3.2. Сторона, ненадлежащим образом исполнившая или не исполнившая свои обязанности по настоящему Договору, обязана возместить убытки, причиненные другой Стороне, включая упущенную выгоду.

### 4. Конфиденциальность

4.1. Условия настоящего Договора и дополнительных соглашений к нему - конфиденциальны и не подлежат разглашению.

### 5. Заключительные положения

5.1. Все споры и разногласия Сторон, вытекающие из условий настоящего Договора, подлежат урегулированию путем переговоров, а в случае их безрезультатности, указанные споры подлежат разрешению в суде в соответствии с действующим законодательством РФ.

5.2. Настоящий Договор вступает в силу с момента подписания обеими Сторонами настоящего Договора и Акта приема-передачи Произведения.

5.3. Настоящий Договор действует до полного выполнения Сторонами своих обязательств по нему.

5.4. Расторжение настоящего Договора возможно в любое время по обоюдному согласию Сторон, с обязательным подписанием Сторонами соответствующего соглашения об этом.

5.5. Расторжение настоящего Договора в одностороннем порядке возможно в случаях, предусмотренных действующим законодательством, либо по решению суда.

5.6. Любые изменения и дополнения к настоящему Договору вступают в силу только в том случае, если они составлены в письменной форме и подписаны обеими Сторонами настоящего Договора.

5.7. Во всем, что не предусмотрено настоящим Договором, Стороны руководствуются нормами действующего законодательства РФ.

5.8. Настоящий Договор составлен в двух экземплярах, имеющих одинаковое содержание и равную юридическую силу, по одному для каждой из Сторон.

**6. Реквизиты Сторон.****Лицензиар:**

ФИО, дата рождения, паспорт, адрес  
регистрации

**Лицензиат:**

ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»  
Адрес: 190121, г. Санкт-Петербург,  
ул. Лоцманская д. 3  
ИНН 7813074883, КПП 783901001  
р/с 40702810255080004491  
Северо-западный банк  
ПАО «Сбербанк России» в Санкт-Петербурге  
БИК 044030653  
к/с 30101810500000000653

**Лицензиар:****Лицензиат**

**Заместитель Генерального директора  
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»**

\_\_\_\_\_/Никитин Н.В./

## АКТ

к лицензионному договору № \_\_\_\_\_

г. Санкт-Петербург

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года

Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»), именуемое в дальнейшем "Лицензиат", в лице заместителя генерального директора-главного редактора научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» Никитин Николая Васильевича, действующего на основании Доверенности № 1-59, удостоверенной нотариусом Санкт-Петербурга Володиным А.В. 21.01.2014г, с одной стороны, и **Гражданин РФ** \_\_\_\_\_, именуемый в дальнейшем "Лицензиар", с другой стороны, именуемые в дальнейшем "**Сторона/Стороны**", составили настоящий акт (далее – «Акт») к лицензионному договору № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ года (далее - "**Договор**") о нижеследующем.

1. **Лицензиар** передал, а **Лицензиат** принял в соответствии с условиями Договора 1 (один) экземпляр Произведения - \_\_\_\_\_ (*наименование и характеристика*) - и право его использования.
2. **Стороны** взаимных претензий по порядку и объему исполнения обязательств по Договору не имеют.
3. Настоящий Акт составлен в двух экземплярах, имеющих равную юридическую силу, по одному для каждой из Сторон.

**Реквизиты Сторон.****Лицензиар:**

ФИО, дата рождения, паспорт, адрес регистрации

**Лицензиат:**

ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»  
Адрес: 190121, г. Санкт-Петербург,  
ул. Лоцманская д. 3  
ИНН 7813074883, КПП 783901001  
р/с 40702810255080004491  
Северо-западный банк  
ПАО «Сбербанк России»  
в Санкт-Петербурге  
БИК 044030653  
к/с 30101810500000000653

**Лицензиар:****Лицензиат**

**Заместитель Генерального директора  
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»**

\_\_\_\_\_/Никитин Н.В./



Правила направления, рецензирования и опубликования  
научных статей в научном журнале «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ»

### **1. Правила направления**

АВТОР (АВТОРЫ) ПОДГОТАВЛИВАЕТ ТЕКСТ РУКОПИСИ НАУЧНОЙ СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ (НАЗВАНИЕ, ДАННЫЕ ПРО АВТОРОВ И КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ) В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ В СООТВЕТСТВИИ С ИНСТРУКЦИЕЙ ПО ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ ДЛЯ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ".

1.1. АВТОР НАПРАВЛЯЕТ НА ИМЯ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА СОПРОВОДИТЕЛЬНОЕ ПИСЬМО В УСТАНОВЛЕННОЙ ФОРМЕ В СООТВЕТСТВИИ С ИНСТРУКЦИЕЙ ПО ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ ДЛЯ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ".

1.2. КРОМЕ СТАТЬИ, В РЕДАКЦИЮ В СООТВЕТСТВИИ С ИНСТРУКЦИЕЙ ПО ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ ДЛЯ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ" ПРЕДОСТАВЛЯЮТСЯ:

- одна рецензия на публикуемую статью по соответствующей специальности с подписью, заверенной гербовой печатью. При междисциплинарном исследовании предоставляются две рецензии от экспертов различных областей наук по соответствующей тематике.
- Акт экспертизы на открытую публикацию (при необходимости).
- Лицензионный договор, распечатанный и подписанный каждым автором.

1.3. В рецензии в свободной форме освещаются следующие вопросы: соответствует ли название статьи ее содержанию, в какой мере статья соответствует современным достижениям в рассматриваемой области научных знаний, удачно ли выбрана форма подачи материала, а также дается описание достоинств и недостатков статьи. В конце рецензии делается заключение о целесообразности публикации рецензируемого материала. В рецензии обязательно указывается Ф.И.О., должность, ученая степень рецензента, дата. Рецензия должна быть заверена подписью рецензента и печатью организации.

Первоначальный вариант статьи, а также предоставленные рецензии хранятся в архиве редакции не менее года (как официальные документы).

1.4. Лицензионный договор в соответствии с Инструкцией по подготовке статей для научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ" предоставляется в редакцию в распечатанном виде на бумажном носителе или в отсканированном виде. Он должен быть собственноручно подписан автором (соавторами) шариковой ручкой с синими чернилами.

1.5. Авторы предоставляют статьи и все сопроводительные документы в электронном виде и/или лично, либо по почте заказным письмом по адресу:

190121 Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д.3.

Редакция научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

1.6. 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.

В журнале печатаются материалы, ранее не опубликованные и не предназначенные к одновременной публикации в других изданиях. Авторы статей несут ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакция не всегда разделяет мнение авторов и не несет ответственности за недостоверность публикуемых данных.

1.7. Гонорар авторам не выплачивается. С аспирантов плата за публикацию статей не взимается.

1.8. Рукописи авторам не возвращаются.

1.9. Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Рецензии хранятся в издательстве и в редакции издания в течение 5 лет.

1.10. Редакция издания направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию издания соответствующего запроса.

## *2. Правила рецензирования*

**2.1. При поступлении статьи в редакцию научной периодики, редактором издания производится оценка ее соответствия требованиям к оформлению рукописи, а также правилам предоставления рукописей.** При нарушении правил предоставления рукописей статья отправляется автору на доработку. Рукописи, поступающие для опубликования в журнале, проверяются на соответствие техническим требованиям и профилю журнала. Материалы, не отвечающие этим условиям, возвращаются авторам с указанием причин отказа в приеме.

2.2. Поступающие от авторов научные статьи проходят редакционную научную экспертизу, определяющую их соответствие заявленной проблематике, уровень раскрытия темы, научную новизну.

Целью научной экспертизы, осуществляемой редколлегией научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ", является содержательная экспертная оценка качества научной статьи по следующим обязательным критериям научности:

- соответствие названия статьи ее содержанию;
- формулировка решаемой проблемы или задачи;
- обоснование актуальности представленных материалов;
- исследовательский характер статьи;
- аргументированность изложения и выводов, в частности, наличие ссылок на использованную литературу и другие информационные источники;
- научная новизна и практическая значимость полученных результатов;

- наличие выводов по результатам статьи;
- наличие списка литературы со ссылками на источники из него из текста статьи.
- **Определение соответствия содержания статьи тематике журнала.** Если содержание статьи не соответствует тематике издания, она снимается с рассмотрения, об этом сообщается авторам. Материалы авторам не возвращаются.

Экспертизу осуществляют члены редколлегии научного журнала "МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ", являющиеся специалистами в соответствующих областях знаний.

2.3. В случае выявления несоответствия предоставленных материалов вышеприведенным критериям, научные редакторы передают рукопись главному редактору для вынесения решения о рекомендации доработки статьи либо ее отклонении от публикации.

Если статья нуждается в доработке, то высылается отзыв члена редакционной коллегии с замечаниями. После исправления автор высылает в редакцию статью повторно. Возвращение рукописи на доработку не означает, что статья принята к печати.

Доработанный вариант необходимо прислать в редакцию повторно, отдельно приложив письмо с ответами на замечания члена редакционной коллегии. Датой поступления статьи считается время поступления в редакцию окончательного (переработанного) варианта.

2.4. Статьи, принятые редакцией научных журналов, распределяются по рубрикам, соответствующим научными направлениями, по которым специализируется журнал.

### ***3. Правила опубликования научных статей, аннотаций и ключевых слов***

3.1. Принятые к публикации статьи проходят редактирование, предусматривающее предпечатную подготовку статьи к размещению в очередном номере журнала.

3.3. Тиражирование журнала производит издательско-полиграфический центр НИЦ «МОРИНТЕХ» в строгом соответствии с периодичностью выхода в свет издания.

3.4. Перепечатка допускается только с разрешения редакции.

Главный редактор научного журнала

«МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Н.В. НИКИТИН

**Есть на складе издательства****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**

**Коршунов Ю. Л.****Люди, корабли, оружие (К 70-летию 1-го ЦНИИ МО РФ)  
СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2002, 176 стр.**

Книга содержит историю научно-исследовательских институтов кораблестроения и морского оружия. Автор приводит большое количество фактов, характеризующих деятельность институтов на различных этапах развития флота.  
Есть в продаже: **цена 280 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**