

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

# МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

1001101001101111001010011010101000011011100011001001001011001100110001011010010010001010101  
00110101101100111000100111001000101110010011100101010011001001100011001010010101001101001001010  
1001000111100110111100101001101110011001010001101010011001100101011100010100100101011110100110  
00101001011001100100110010011101100111000100110010010010101000011100110010011100010110100100100  
0011010100110100100001011010010101000100100001111100110011001101101011001110000001110010100101  
1101110011001010111100101010100101001101001110001011001010011001010111100101011100101101001010  
00001110101001111000101011001000111001101101001001101101100110010101001110010100110010011001  
11001100011100100110001010010100111101010101000001010101000110101110011001000111001010010010100  
001010011100110100111100010100101011101010010000101100011001100101011000101011001101001010010

№ 1 (43) Т.4 2019



**Труды**  
**Астраханского государственного**  
**технического университета**



# МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 1 (43) Т.4 2019 [www.morintex.ru](http://www.morintex.ru)

Электронное сетевое (ISSN 2588-0233) и печатное (ISSN № 2073-7173) издание

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, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

### Члены Совета

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

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

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

Огай С. А. д.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, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

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

## 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

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

М.В. Войлошников, 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

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

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

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

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

Верстка: А.И. Соломонова



# MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

Scientific journal № 1 (43) V. 4 2019 [www.morintex.ru](http://www.morintex.ru) ISSN 2073-7173, ISSN 2588-0233

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, General Director, Lazurit Central Design Bureau JSC

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, Executive Director, 51 CCIS

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

## Editorial Staff

### Deputy Chief Editors

A.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

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

F.F. Legusha, Dr. Sci.Phys.-Math., professor, State marine technical university of Saint-Petersburg

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

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

190121, 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

Page-proofs: A.I. Solomonova



**ТРУДЫ**  
**АСТРАХАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**



# 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.

<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>	стр
О журнале.....	9
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ</b>	
<b>Титов А.В., Баракат Л., Лазовская О.Ю., Тактаров Г.А., Ковалев О.П.</b> Оценка рисков эксплуатации безэкипажных судов.....	11
<b>Темникова А.А., Рубан А.Р., Карлина Е.П., Тактаров Г.А.</b> Анализ проектных решений движительного комплекса ледоколов, эксплуатируемых в Северном Каспии.....	24
<b>ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА</b>	
<b>До Тат Мань</b> Экспериментальные исследования возможности сборки трасс трубопроводов судовых систем путём использования прямых труб.....	31
<b>Нгуен З Л, Кожухарь Е. Д., Рубан А. Р., Гусейнов Р. В., Абачараев И. М.</b> Определение прочности сварного шва корпуса судна с дефектами нетрещиноподобного типа на основе элементов теории упругости и разрушения.....	37
<b>Нгуен З.Л., Булгаков В.П., Рубан А.Р., Гусейнов Р.В., Абачараев И.М.</b> Анализ и разработка метода оценки прочностной надежности сварного соединения с дефектами нетрещиноподобного типа.....	44
<b>Сахно К.Н., До Т.М., Гусейнов Р. В., Цалоев В. М., Булгаков В.П.</b> Программа автоматизированного определения возможности сборки трасс трубопроводов для проектирования судовых систем.....	50
<b>Сахно К.Н., До Т.М., Гусейнов Р. В., Цалоев В. М., Булгаков В.П.</b> Анализ возможности сборки судовых трубопроводов путём использования прямых труб, изготовленных с допуском смещением соединений.....	56
<b>Темникова А.А., Рубан А.Р., Тактаров Г.А., Ковалев О.П., Букин В.Г.</b> Использование экспертных оценок в определение риска отказа элементов судового энергетического комплекса ледоколов.....	61
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)</b>	
<b>Мамбетов Э.М., Перекрестов А.П.</b> Перспективный способ центровки и повышения надежности подшипниковых узлов скольжения судовых валопроводов.....	70
<b>Гужвенко И.Н., Чанчиков В.А., Баракат Л., Прямухина Н.В., Стринжа Е.А., Ковалев О.П.</b> Исследование трибологических характеристик деталей цилиндропоршневой группы судового дизельного двигателя методом ускоренных испытаний в смазочной среде, содержащей слоистые модификаторы трения.....	75
<b>Покусаев М.Н., Шахов В.В., Ковалёв О.П., Трифонов А.В., Булгаков В.П.</b> Экспериментальное определение параметров вихревых насосов судовых дизелей с использованием тензометрии.....	83
<b>Покусаев М.Н., Мамонтов В.А., Рубан А.Р., Горбачев М.М., Ковалев О.П.</b> Исследование крутильных колебаний машинно-движительного комплекса разъездного речного судна «РК-2091» проекта 376.....	88
<b>Покусаев М.Н., Шишкин Н.Д., Букин В.Г., Сибряев К.О., Горбачев М.М.</b> Опыт модернизации учебно-лабораторных стендов для обучения судовых механиков на кафедре «Эксплуатация водного транспорта» ФГБОУ ВО «АГТУ».....	93
<b>Покусаев М.Н., Букин В.Г., Тактаров Г.А. Трифонов А.В., Абачараев И.М.</b> Анализ планов управления энергоэффективностью судов.....	98
<b>УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ</b>	
<b>Ильина Е.Г., Ковалёв О.П., Тактаров Г.А.</b> Анализ влияния различных факторов на эффективность деятельности транспортно-экспедиторских компаний Астраханской области, специализирующихся на морских перевозках.....	103
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ</b>	
<b>Титов А.В., Баракат Л., Чанчиков В.А., Тактаров Г.А., Ковалев О.П.</b> Системы управления безэкипажными судами.....	109

**УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

<b>Шуршев В.Ф., Колотилов Ю.В., Карлина Е.П., Шадлов Д.В., Плотников А.Ю.</b> Структуризация решений по мониторингу экологической безопасности добычи и транспорта углеводородов в сложных инженерно-геологических условиях.....	121
<b>Карлина Е.П., Тактаров Г.А., Коваленкова А.С.</b> Состояние и перспективы развития судостроительного комплекса астраханской области в условиях цифровизации производства.....	128

## CONTENTS

	стр
About journal .....	10
<b>SHIP DESIGNING AND STRUCTURE</b>	
<b>Alexey V. Titov, Lama Barakat, Olga Yu. Lazovskaya, German A. Taktarov, Oleg P. Kovalev.</b> Risk assessment of operating unmanned ships.....	11
<b>Alena A. Temnikova, Anatoly R. Ruban, Elena P. Karlina, German A. Taktarov</b> The analysis of the design solutions of the propulsion complex of icebreakers operated in the Northern Caspian.....	24
<b>SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING PRODUCTION</b>	
<b>Do Tat Manh</b> Experimental studies of the potential for assembling pipeline routes of marine systems by using straight pipes.....	31
<b>Linh D. Nguyen, Evgeny D. Kozhukhar, Anatoliy R. Ruban, Rasul V. Guseinov, Ibragim M. Abacharaev</b> Determination of a weld strength of a ship's hull with non-crack-like defects based on elements of the elasticity and fracture theory.....	37
<b>Linh D. Nguyen, Vladimir P. Bulgakov, Anatoliy R. Ruban, Rasul V. Guseinov, Ibragim M. Abacharaev</b> Analysis and development of the method for estimating the strength durability of a welded joint with non-crack-like defects.....	43
<b>Konstantin N. Sakhno, Manh T. Do, Rasul V. Guseynov, Vladimir M. TSaloev, Vladimir P. Bulgakov</b> The software program for automated determination of ability for assembly of pipeline routes for designing ship systems.....	50
<b>Konstantin N. Sakhno, Manh T. Do, Rasul V. Guseynov, Vladimir M. TSaloev, Vladimir P. Bulgakov</b> Analysis the possibility of the assembly ship pipelines by using straight pipe, that manufactured with allowable tolerance.....	56
<b>Temnikova A.A., Ruban A.R., Taktarov G.A., Kovalev O.P., Bukin V.G.</b> The use of expert assessments in determining the risk of failure of icebreakers' marine power complex components.....	61
<b>SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)</b>	
<b>Eldar M. Mambetov, Arshavir P. Perekrestov</b> A perspective method of alignment and reliability improvement of sliding-surface bearing assemblies of marine propeller shafts.....	70
<b>Ivan N. Guzhvenko, Vasiliy A. Chanchikov, Nina V. Pryamukhina, Lama Barakat, Ekaterina A. Strinzha, Oleg P. Kovalev</b> Studying the tribological characteristics of cylinder-piston group parts of a marine diesel engine with the accelerated tests method in lubricating medium containing laminated friction modifiers.....	75
<b>Mikhail N. Pokusaev, Vasiliy V. Shahov, Oleg P. Kovalev, Alexey V. Trifonov, Vladimir P. Bulgakov</b> Experimental determination of vortex pump parameters of ship diesels with the use of tensometry.....	83
<b>Mikhail N. Pokusaev, Victor A. Mamontov, Anatoliy R. Ruban, Oleg P. Kovalev, Maxim M. Gorbachev</b> Study of the torsion vibrations of the river general service launch "rk-2091" project 376 propulsion system.....	88
<b>Mikhail N. Pokusaev, Nikolai D. Shishkin, Vladimir G. Bukin, Konstantin O. Sibryaev, Maxim M. Gorbachev</b> Experience in modernization of educational-laboratory benches for training of ship mechanics in the department of "water transport operation", fsbei he "ASTU".....	93
<b>Mikhail N. Pokusaev, Vladimir G. Bukin, German A. Taktarov, Alexey V. Trifonov, Ibragim M. Abacharaev</b> Analysis of the management plans for energy efficiency of ships.....	98
<b>CONTROL AND PROCESSING OF INFORMATION</b>	
<b>Elena G. Ilyina, Oleg P. Kovalev, German A. Taktarov</b> Analysis of different factors effect on the efficiency of activity of transport-forwarding companies of astrakhan area specializing on marine transport operations.....	103



**AUTOMATION AND CONTROL OF PROCESSES AND PRODUCTIONS**

<b>Alexey V. Titov, Lama Barakat, Vasiliy A. Chanchikov, German A. Taktarov, Oleg P. Kovalev.</b> Control systems of unmanned vessels.....	109
---	-----

**CONTROL IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS**

<b>Valery F. Shurshev, Yuriy V. Kolotilov, Elena P. Karlina, Denis V. Shadlov, Anton Yu. Plotnikov</b> Structuring solutions on monitoring ecological safety of hydrocarbon production and transportation in complex engineering and geological conditions.....	121
---	-----

<b>Elena P. Karlina, German A. Taktarov, Anastasia S. Kovalenkova</b> Status and prospects for development of the shipbuilding complex of astrakhan region under the conditions of digitalizing the production.....	128
---	-----

## О ЖУРНАЛЕ

**Научный журнал «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» – это электронное сетевое (ISSN 2588-0233) и печатное (ISSN № 2073-7173) издание.**

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.

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

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

## 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, postgraduate 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 according 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

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ**

УДК 629.067:656.08

**ОЦЕНКА РИСКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕЗЭКИПАЖНЫХ СУДОВ****Алексей Валерьевич Титов**

кандидат технических наук, руководитель Каспийского распределенного центра «Маринет» Национальной технологической инициативы, председатель Астраханского отделения «Ассоциации инженерного образования России», зам. председателя НП СРО «Каспийская ассоциация аудиторов, энергоаудиторских и экспертных организаций», руководитель проекта «Морская многоцелевая беспилотная платформа», Астраханский государственный университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20  
e-mail: pochta\_414000@list.ru

**Лама Баракат**

аспирант кафедры «Автоматика и управление»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: lama.barakat@mail.ru

**Ольга Юрьевна Лазовская**

советник президента Общероссийского отраслевого объединения работодателей «Российская палата судоходства», генеральный директор и учредитель L'logic LLC  
125009, г. Москва, ул. Петровка, 3/6  
e-mail: happindom@gmail.com

**Герман Александрович Тактаров**

доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Финансы и учет»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: finans@astu.org

**Олег Петрович Ковалев**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии продуктов питания и товароведения»  
Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт  
141821, Московская область, Дмитровский р-н, пос. Рыбное, 36  
e-mail: drti\_agtu@mail.ru

**Аннотация**

В статье проводится оценка рисков эксплуатации безэкипажных судов. Ожидается, что к 2020 году в рамках ИМО будет сформирована вся необходимая законодательная база, регулирующая автономное судоходство. А первые безэкипажные суда (проекты «ReVolt», «Yara Birkeland», «ASTAT», «Milliampege», «Jin Dou Yun» и другие) будут введены в эксплуатацию уже в 2019 году. В связи с этим актуальными являются задачи технико-экономического обоснования строительства первого безэкипажного судна в России, выбора типа судна, основных измерений, конструктивных особенностей БЭС, в том числе судовых систем обеспечивающих автономность плавания и т.п. Для решения поставленных задач необходимо провести оценку рисков использования БЭС. Горизонт планирования развития безэкипажных технологий рассматривается до 2035 года.

В качестве исходных материалов используется научно-техническая информация, которая представлена в трудах, посвященных описанию существующих проектов БЭС. Использовался теоретический метод анализа информации.

Основными результатами работы являются определение основных рисков, связанных с внедрением и последующей эксплуатацией БЭС и сопоставление рисков при использовании судов с экипажем и без него.

Результаты исследования позволяют понять важность существующих технологий безэкипажного судоходства и их влияние на развитие судоходной отрасли. Представлен анализ основных рисков внедрения БЭС. Особое внимание уделяется кибер-рисуку.

**Ключевые слова:** безэкипажное судно, береговой центр управления, правила предупреждения столкновений судов в море, прогрессивный сенсорный модуль, е-навигация, автоматическая идентификационная система, система глобального позиционирования, кибер-риск.

**RISK ASSESSMENT OF OPERATING UNMANNED SHIPS****Alexey V. Titov**

Ph.D. in Engineering Science, Head of the "Marinet" distribution center of the National Technological Initiative of Russia, Chairman of the Astrakhan branch of the Association of Engineering Education of Russia, Deputy Chairman

of NP SRO "Caspian Association of Auditors, Energy Auditing and Expert Organizations", Project Manager of "Marine Multi-Purpose Unmanned Platform", Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 20  
e-mail: pochta\_414000@list.ru

**Lama Barakat**

Postgraduate Student of the Department "Automation and Control"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: lama.barakat@mail.ru

**Olga Y. Lazovskaya**

Advisor to the President of the All-Russian Industrial Association  
of employers "Russian Chamber of Shipping",  
CEO and Founder of L'logic LLC  
125009, Moscow, Petrovka 3/6  
e-mail: happindom@gmail.com

**German A. Taktarov**

Dr.Sci.(Economics), Professor, Professor of the Department of "Finance and Accounting"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: finans@astu.org

**Oleg P. Kovalev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Head of the Department  
"Food and Merchandising Technology"  
Dmitrovsky Fisheries Technological Institute  
141821, Moscow region, Dmitrovsky district, vil. Ribnoye, 36  
e-mail: drti\_agtu@mail.ru

**Abstract**

The article assesses the risks of operation of unmanned ships. It is expected that by 2020, all the necessary legislative framework governing autonomous shipping will be formed within the framework of IMO. And the first unmanned vessels (projects "ReVolt", "Yara Birkeland", "ASTAT", "Milliampere", "Jin Dou Yun" and others) will be commissioned already in 2019. In this relation, the tasks of the feasibility study of construction of the first unmanned vessel in Russia, choice of the type of vessel, basic measurements, design features of an unmanned ship, including shipboard systems ensuring the autonomy of navigation, etc., are urgent. To solve the set tasks, it is necessary to assess the risks of using unmanned ships. Planning time-frame for unmanned technology development is considered until 2035.

Scientific and technical information, which is presented in the works devoted to the description of existing projects of unmanned ships, is used as input materials. The theoretical method of information analysis was used.

The main results of work are identification of the main risks associated with introduction and subsequent operation of unmanned ships and the comparison of risks when using ships with and without crew.

The results of the study make it possible to understand the importance of existing safe shipping technology and their impact on the development of the shipping industry. The analysis of the main risks of unmanned ships implementation is presented. Special attention is paid to cyber risk.

**Keywords:** unmanned ship, coastal control center, rules for preventing collisions at sea, progressive touch module, e-navigation, automatic identification system, global positioning system, cyber risk.

**Введение**

Реализация проектов БЭС будет представлять собой одно из самых фундаментальных изменений, наблюдаемых в судоходной отрасли за долгое время. Действительно, имеющийся в морской отрасли «дефицит инвестиций и высокий износ транспортных средств требует изменения приоритетов в национальной технологической инициативе: от возрождения промышленного производства и обновления транспортных средств к цифровой экономике» [17].

Детальное исследование проектов в области БЭС позволит сформировать технико-экономическое обоснование строительства таких судов и обозначить необходимый и конечный набор технологий для их реализации. Технологии телекоммуникаций, электронных датчиков и систем,

технологии е-навигации уже внедряются в сфере морской индустрии. БЭС является сложнейшим техническим, транспортным средством, в котором особая роль отводится автоматической системе управления. В ближайшем будущем невозможно представить гражданский флот без автономных БЭС [1].

Целью данной статьи является оценка рисков эксплуатации БЭС. В связи с растущим во всем мире интересом к увеличению объемов перевозок и повышению безопасности плавания наблюдается соответствующий рост спроса на разработку и внедрение автономных судов, в том числе безэкипажных транспортных и исследовательских судов с возможностью их дистанционного управления (проекты «ReVolt», «Yara Birkeland», «ASTAT», «Milliampere», «Jin Dou Yun» и другие).

Первое в мире практическое безэкипажное судно (БЭС) с дистанционным управлением было изобретено «Никола Тесла». В 1898 году Тесла получил патент США № 613809 на «Метод и устройство для управления механизмом движущихся судов или транспортных средств» [7]. Тесла публично продемонстрировал свое БЭС в большом водном резервуаре во время выставки электротехнической промышленности в Мэдисон-Сквер-Гарден в Нью-Йорке. Такое историческое событие сформулировало мысль о методе использования радио для управления и контроля.

БЭС может быть определено, как беспилотные транспортные средства, которые выполняют задачи в самых разнообразных условиях без какого-либо вмешательства человека либо управление осуществляется дистанционно [18]. Также нужно отметить, что внедрение БЭС сегодня – это уже необходимость и конкурентное преимущество, выражающееся в цифровой экономике. В настоящее время в Европе существует несколько научно-исследовательских проектов, финансируемых ЕС и направленных на разработку соответствующих технологий, которые в основном можно отнести к БЭС, например, проекты MUNIN, ReVolt, AAWA и др. Ведущими разработчиками морской робототехники в России являются ФГБУН «Институт проблем морских технологий» ДВО РАН, ФГУП «ОКБ «Океанологической техники» РАН», ЦКБ МТ «Рубин» и АО «СПМБМ «Малахит» (входят в состав ГК «ОСК»), ОАО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор», ОАО «Концерн «Моринформсистема – АГАТ» и АО «Концерн «НПО «Аврора» (входят в состав ГК «Ростех») [1].

Поскольку БЭС не имеют экипажа на борту, датчики и системы должны обеспечить техническое зрение с последующей обработкой информации – по своей сути реализовать технологию искусственного интеллекта для распознавания объектов и последующего принятия решений. В связи с этим возникает задача проведения комплексного анализа и оценки рисков эксплуатации БЭС.

### 1. Фактор ошибок человека в судоходстве

Человеческая ошибка являются риском в морских и авиационных авариях. Сопоставление двух сфер деятельности морского судоходства и авиации продиктовано схожестью трендов развития.

Согласно ежегодному обзору тенденций и событий в области транспортных потерь и безопасности (Safety and shipping Review 2017), организованному компанией AGCS SE (Allianz Global Corporate & Specialty SE), по оценкам, от 75 до 96% морских аварий можно отнести к человеческой ошибке [3]. Кроме того, анализ компании AGCS почти 15000 страховых случаев морской ответственности в период с 2011 по 2016 год показывает, что человеческая ошибка составляет 75% от стоимости всех проанализированных претензий, что эквивалентно более 1,6 млрд. долл. США (рис. 1).



Рис. 1. Основные причины потери ответственности по стоимости претензий в судоходстве [3]

Главным преимуществом БЭС может стать исключение возможности возникновения морских аварий (сведение их минимуму), возникающих из-за человеческих ошибок. Таким образом, БЭС смогут уменьшить основную причину морских аварий.

Однако безопасность плавания судна и исключение аварий будет в первую очередь зависеть от эксплуатационных характеристик безэкипажного судна уровней автономности: полной автономности либо дистанционно управляемой системы, установленной на борту и управляемой квалифицированным оператором, находящимся на берегу [2]. И здесь вновь может возникнуть фактор человеческой ошибки – в рамках дистанционного управления (удаленного).

Если сопоставить с процессами на воздушном транспорте около (60%) аварий были вызваны человеческим фактором (рис. 2). За ним следует механическая неисправность (29%), аварии в результате погодных условий (4%), в то время как (7%) событий не имеют ясной причины [19]. В авиации особое внимание уделяется оценке фактора человеческой ошибки с целью снижения количества авиационных происшествий. Современные воздушные транспортные средства все больше полагаются на разработку методов автоматизации и внедрение современных технологий, в том числе автопилоты, для обеспечения безопасности и эффективности их работы.



Рис. 2. Основные причины авиационных аварий

Автопилот предназначен для снижения рабочей нагрузки и усталости управления самолетом при длительных полетах. Основной задачей автопилота является исправление ошибок и восстановление самолета в желаемую пилотом ориентацию полета [20]. Многие современные автопилоты могут получать данные от приемника глобальной системы позиционирования (GPS), установленного на самолете. GPS-приемник может определять положение самолета в пространстве, вычисляя его расстояние от трех или более спутников в сети GPS.

Таким образом, можно отметить, что движение человечества в направлении использования пилотируемых систем с высоким уровнем автоматизации в авиации, позволяет давать объективную оценку целесообразности прохождения этого этапа развития в судоходстве.

## 2. Риск столкновения судов

Возможностью столкновения БЭС с обычными судами является серьезный вопрос, не имеющий однозначного решения. Будущие морские аварии с участием БЭС будут, по крайней мере, в определенной степени, вызваны отказами технических систем.

БЭС по-прежнему нигде не упоминаются ни в правилах предупреждения столкновений судов в море (ППСС), ни в каких-либо других международных кодексах по этому вопросу. Обычные суда будут ходить в тех же водах, что и БЭС, и поэтому очень важно, чтобы БЭС также следовали определенному ряду навигационных правил. Можно предположить, что в недалеком будущем традиционное судоходство будет «уживаться» с безкилажными судами.

Запланировано, что к 2020 году в рамках деятельности Международной морской организации будет сформирована необходимая законодательная база, регулирующая автономное судоходство.

На рисунке 3 иллюстрируется количество морских столкновений обычных судов по годам на 31 августа 2018 года в соответствии со статистикой, представленной японским советом по безопасности на транспорте [13].

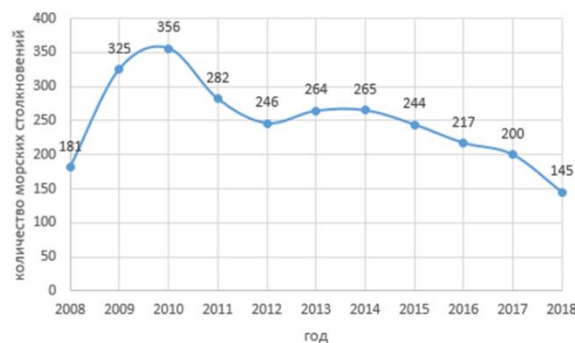


Рис. 3. Статистика морских столкновений обычных судов

По словам Srnulf Jan Rodseth, старшего научного сотрудника Норвежского научно-исследовательского института морских технологий (MARINTEK), отказ в обнаружении объекта, в условиях плохой видимости, может привести к столкновениям судов.

Современный сенсорный модуль, установленный на БЭС, должен обеспечивать обнаружение объектов при любых погодных условиях, даже самых неблагоприятных [11]. В России уже сейчас ведутся разработки камер с распознаванием от ультрафиолетового до инфракрасного излучения [21]. После формирования технического зрения возникает задача обработки и распознавания объектов в рамках платформы Е-навигации.

Чтобы БЭС могло соответствовать требованиям ППСС, уменьшить риск столкновения и обеспечить безопасное плавание, необходимо чтобы прогрессивный сенсорный модуль (ПСМ) был разработан для поддержания автоматического наблюдения за движением и препятствиями, а также для наблюдения за условиями окружающей среды вокруг судна. Результаты тестирования ПСМ, выполненного на проекте «MUNIN», показали, что ПСМ в настоящем исполнении недостаточно эффективен. Причиной отрицательных результатов был, недостаточный диапазон технического зрения, который можно улучшить с помощью комбинации различных технических средств более совершенных радаров и объединения их с другими датчиками [12]. В настоящее время компания «Rolls Royce» разрабатывает прогрессивную систему, позволяющую БЭС самостоятельно перемещаться по правилам предупреждения столкновений судов в море.

Технические проблемы являются основными причинами морских аварий, хотя и не так часто в общих потерях. Любой отказ, возникающий в машинном отделении БЭС, приведет к полной остановке судна. В концепцию «MUNIN» по БЭС входят система автономного мониторинга и управления двигателем (АМУД) «Autonomous Engine Monitoring and Control (АЕМС)» и автономная навигационная система (АНС). Обе системы образуют автономный судового контроллер (рис. 4).

Система АМУД автономно управляет и контролирует все компоненты машинного отделения и работает в качестве приемопередатчика для берегового центра управления (БЦУ). Важнейшими функциями системы АМУД являются автономное управление машинным отделением и аварийное управление. Аварийное управление включает обнаружение отказов путем мониторинга ключевых значений, доступа к системе автоматизации двигателя (САД) и дополнительным датчикам, таким

как инфракрасные камеры, обнаружение газа и пожара.

При нормальной работе система АМУД получает входные данные от системы эффективности двигателя (СЭД), и следует рекомендациям СЭД, если они не противоречат командам АНС. Благодаря этому соединению с СЭД, ее работоспособность анализируется, и система АМУД обеспечивает оптимизированную работу производителей электроэнергии [14].

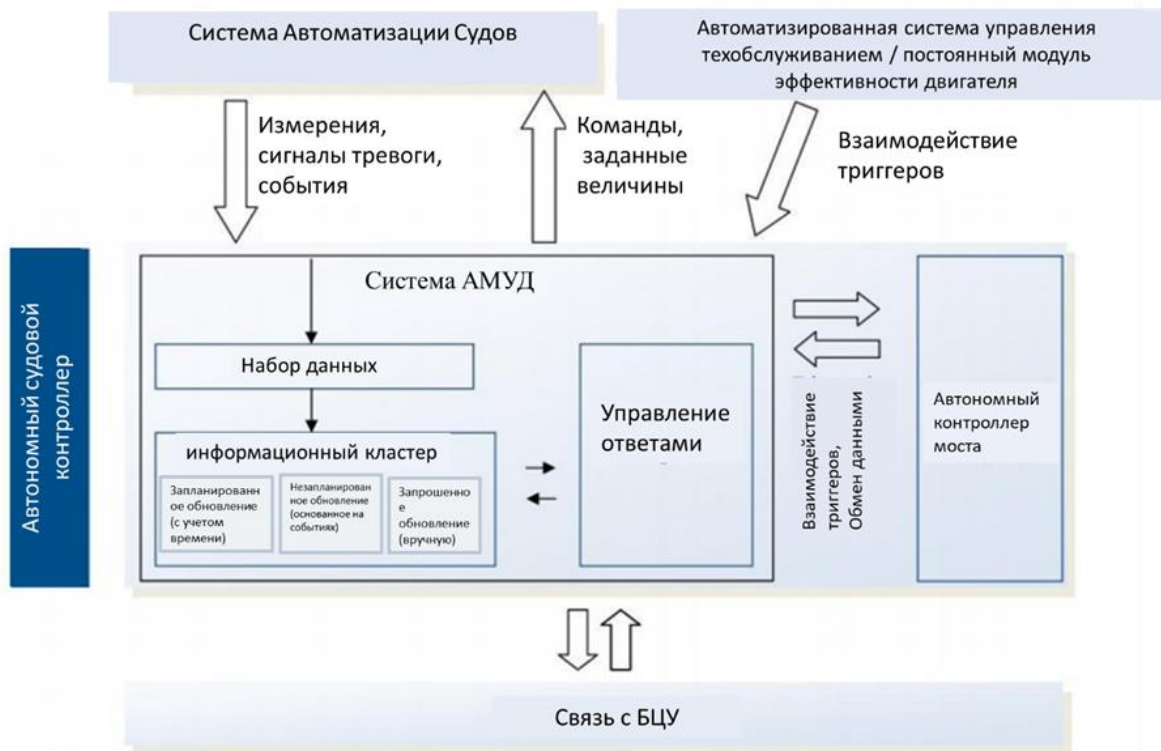


Рис. 4. Структурная схема системы АМУД проекта «MUNIN»

Нужно отметить, что проект по автоматическому и дистанционному управлению судами в России будет реализован уже в 2019 году. Консорциум российских разработчиков в партнерстве с отечественными судоходными компаниями - «Совкомфлот», «Росморпорт» и «Пола Райз» при поддержке Министерства промышленности и торговли России планирует реализовать проект по апробированию и отработке технологий автоматического и дистанционного управления судами. Комплексный проект будет реализован одновременно на трех судах: танкере, ледоколе и сухогрузе в разных акваториях с различными условиями. В результате проекта в 2020 году должны быть созданы тиражируемые средства автоматического и дистанционного судовождения для оснащения существующих судов мирового флота, представлены результаты их опытной эксплуатации и сформулированы предложения международному и национальному регуляторам по легитимизации использования этих средств для сокращения численности экипажа на борту.

Опережающее внедрение технологий безэкипажного судовождения позволит повысить эффективность и конкурентоспособность отечественного водного транспорта с одной стороны,

а с другой - обеспечить приоритет и ведущие позиции на мировом рынке российских производителей морских интеллектуальных систем [31]. Отработка технологий планируется на челночном танкере ПАО «Совкомфлот», который работает на маршруте Мурманск-Ямал, на ледоколе ФГУП «Росморпорт» в восточной части Финского залива, и сухогрузе компании «Пола Райз» проекта RSD59 в Черном и Азовском морях. Решение будет включать ряд интегрированных систем: мостиковая система, включая радар и АИС, комплекс машинного зрения, систему контроля технического судна, интеллектуальную систему автоматического управления, береговую систему мониторинга и планирования, береговой пульт дистанционного управления и систему спутниковой связи.

### 3. Риск пожара и взрыва

Ожидается, что риск, связанный с пожарами и взрывами ниже для БЭС, чем для обычных судов. В целом этот риск вызывается деятельностью человека, например, сваркой или другими техническими видами работ, которые не будут происходить на БЭС. Повышенные риски могут возникнуть из-за отсутствия постоянного мониторинга и технического обслуживания систем машинного



оборудования. Утечка масла или топлива может привести к пожарам, если их оставить без присмотра. Однако это может быть устранено путем автоматизированного мониторинга с помощью технологии видеонаблюдения [10].

**4. Кибер-риск**

БЭС представляет собой новую, но сильную тенденцию в морском секторе. Однако, как представляется, многие проблемы еще не решены. БЭС будут использовать целый ряд электронных устройств и программных обеспечений, включая сложные судовые системы, автоматические идентификационные системы (АИС), системы глобального позиционирования (GPS), электронно-картографические навигационно-информационные системы (ЭКНИС) и пр. Однако интеграция этих технологий является важной задачей.

Основным риском при эксплуатации БЭС может стать кибер-риск. Незаконное вмешательство в управление БЭС может привести к столкновению с другими судами, посадке судна на мель в критических областях или аналогичному серьезному морскому инциденту [8], вследствие следующих причин: первая причина – БЭС требуют высокоскоростных каналов связи, а это означает, что хакеры могут подключаться и взламывать системы БЭС. Вторая – БЭС управляются с помощью технических систем, установленных на борту, к которым может быть осуществлен несанкционированный доступ. Таким образом, кибер-риск может представлять собой серьезную угрозу для судоходства.

Однако существуют технические меры по минимизации этого риска, но они требуют очень высокого внимания к проблеме и системного подхода к блокированию векторов атак, в том числе атак на БЦУ [10]. Последствия кибер-риска в управлении и навигации БЭС очевидны и не требуют длительной аргументации.

Для понимания характера риска и установления причинно-следственной связи при наступлении страхового случая, по типу взаимодействия судовых систем можно выделить четыре основные структуры (рис. 5).

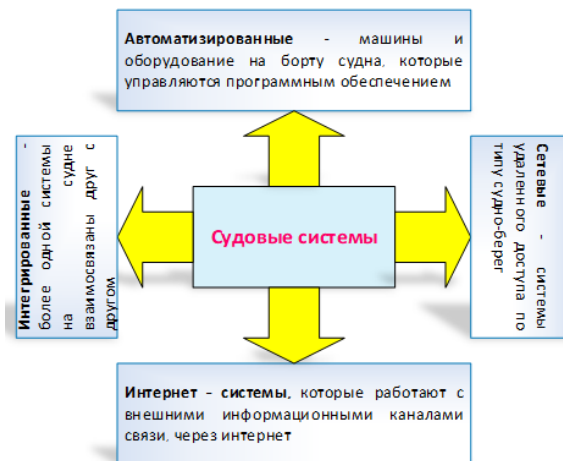


Рис. 5. Основные структуры судовых систем

На современных судах и судах ближайшего будущего, большая часть систем управления отдельными системами оборудования автоматизированы. Эти системы в свою очередь могут быть интегрированы между собой и управляться с «капитанского мостика, а некоторые управляться и/или контролироваться спутниковыми или радиочастотными системами с офиса на берегу. Основные категории систем управления судном схематично представлены на рисунке 6.

Для определения степени кибер-риска, следует в первую очередь установить характер связи между судовыми системами и оборудованием: автоматизированные, интегрированные, сетевые или интернет? Далее проводится анализ систем защиты. В целом, чем выше степень автоматизации судна и чем шире диапазон управления судном с выходом в интернет или использованием радиочастотных систем связи, чем выше уровень кибер опасности. Из-за необходимости взаимодействия разных судовых систем управления друг с другом, брандмауэры навигационной системы на борту судов часто не могут обеспечить адекватную защиту. А также для совместной работы этих систем необходима открытая связь для того, чтобы получить большое количество информации из различных компонентов системы (радар, GPS, АИС и др.). Гибкость, присущая компонентам систем, обеспечивающая их связь с компонентами других систем, оставляет очевидные пробелы в безопасности, которые являются целями хакеров.



Рис. 6. Основные категории систем управления судном

Стоит отметить, что подавляющее большинство всех морских происшествий на 80% связано с человеческим фактором (ошибка экипажа на борту судна или береговой службы). Автоматизация судов обычно рассматривается как способ повышения эффективности и безопасности системы за счет сокращения риска ошибки человеческого фактора.

Морской кибер-риск может быть определен в соответствии с временными руководящими принципами ИМО по управлению кибер-рисками как «степень, в которой технологическому активу угрожает потенциальное обстоятельство или событие, которое может привести к сбоям в работе, безопасности или охране, связанным с эксплуатацией, безопасностью или безопасностью вследствие сбоев, потери или компрометации информации или систем» [22]. ИМО проводит различие между системами информационных технологий, ориентированными на данные как информация и операционными технологическими системами, использующими такие данные для управления или мониторинга различных судовых процессов. Риск в основном связан с обменом информацией и протоколами передачи данных [23]. Кибер-риски включают в себя риски, связанные с хакер-атаками, передачей вирусов, кибер-вымогательством, простоем сети и нарушениями безопасности данных.

Международный Союз морского страхования (МСОМС) признает, что кибер-риск является одной из областей, где операторы судов и их страховщики не спешат отвечать. В июне 2017 года на заседании комитета по безопасности на море (КБМ) № 98 было принято решение о том, что управление кибер-рисками на борту судов должно стать частью международного кодекса по управлению безопасностью» (МКУБ) и, соответственно, оно будет частью обязательной системы управления

безопасностью судна к 2021 году. Это приветствуется МСОМС [24].

Рост автоматизации был ключевой темой конференции Комитета по безопасности на море в мае 2018 года. ИМО обязалась изучить существующие правила безопасности и внести поправки в международные конвенции, с тем, чтобы учесть введение БЭС.

В 6 февраля 2018 года в Лондоне состоялось заседание МСОМС, на котором вопрос кибер-рисков и кибер-безопасности судов и оборудования являлся одним из основных. В части страхования наиболее сложным является причина хакерской атаки [25]. Большинство атак являются по-сути актами террористического характера, а значит попадают в исключения из страхового покрытия. Предоставление покрытия по террористическим случаям не приветствуется рынком, так как может рассматриваться как факт поддержки терроризма. Страхование кибер-рисков - в расширенном понимании, это новый продукт не только для российского страхового рынка, но и для международного. Практика страхования кибер-рисков бесэкипажных судов в настоящее время формируется [24].

### 5. Риск кибер-безопасности

Кибер-безопасность представляет собой защиту систем операционных и информационных технологий, сетей и данных от несанкционированного доступа, манипуляций и сбоев. Для обеспечения кибер-безопасности требуется управление рисками. Этот процесс включает в себя задачу определения совокупного набора судовых систем, которые нужно защитить. Кибер угрозы являются растущей угрозой, распространяющейся на все отрасли промышленности, опирающиеся на системы

информационно-коммуникационных технологий (ИКТ).

Риск кибербезопасности может вызывать как потенциальный ущерб и гибель людей, так и физический ущерб морской, судоходной и портовой инфраструктуре. Внедрение кибербезопасности начинается с уровня управления рисками и требует приверженности на всех уровнях организации, так как влияние человеческого фактора на кибербезопасность является значительным.

Исследования, проведенные в последние несколько лет, а также информация об инцидентах, которая все-таки стала доступна широкому кругу лиц, лишь подтверждают опасения о безопасности морского сектора.

В ноябре 2011 года европейское агентство по сетевой и информационной безопасности опубликовало первый отчет европейского союза о проблемах кибербезопасности в морском секторе. Основные выводы данного отчета заключаются в следующем: 1) «из-за сложности Информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) серьезной проблемой является обеспечение адекватной морской кибербезопасности. Общая стратегия и разработка передовой практики для разработки технологий и внедрения систем ИКТ обеспечат «конструктивную безопасность» для всех важнейших морских компонентов ИКТ.»; 2) «улучшение обмена информацией и статистическими данными по кибербезопасности может помочь страховщикам улучшить свои эталоны, снизить собственные риски и, таким образом, предложить лучшие условия договорного страхования для морского сектора» [26].

Для облегчения анализа риска кибербезопасности судоходства полезно перечислить системы, которые могут подвергаться атакам. Они могут включать:

1. Е-навигация (система глобального позиционирования (GPS), электронная картографическая навигационно-информационная система (ЭКНИС), автоматическая идентификационная система (АИС), радар, гироскоп, регистратор данных рейса (РДР));
2. коммуникационные системы (системы Wi-Fi и 4G, глобальная морская система связи при бедствии (ГМССБ));
3. системы управления грузами;
4. системы управления движением, машинными устройствами и электропитанием.

Все эти системы управляются с помощью программного обеспечения, которое имеет

основополагающее значение для бесперебойного функционирования.

АИС считается мягкой целью для кибер-атаки за счет отсутствия встроенного механизма для шифрования сигналов (сообщения АИС не шифруются, а также вся информация автоматически считается подлинной и, следовательно, рассматривается как правильная часть информации.). Ведущими исследователями в области безопасности АИС являются эксперты компании по кибербезопасности «Trend Micro». В октябре 2013 года «Trend Micro» продемонстрировала, насколько легко проникнуть в АИС судна [27].

Суда полностью зависят от GPS для их навигации, когда погода плохая и видимость низкая, поэтому нарушение работы систем GPS создает значительные проблемы. В 2013 году исследователи из Техасского университета смогли продемонстрировать, что они могут отправить суперяхту с курса, создав фальшивый сигнал GPS, который затмевает подлинный сигнал. Основная проблема GPS, а также других глобальных навигационных спутниковых систем, таких как ГЛОНАСС российского производства, заключается в том, что их спутниковый сигнал слаб и легко заклинивается или поддается в 1,3 миллиона раз более сильному послышаемому с передатчика [28].

Для решения вопроса, связанного с нарушением работы систем GPS, защита, предлагается радионавигационная система «e-Loran» (Enhanced Long range navigation), которая относится к классу гиперболических систем. Система находится в разработке до 2020 года [29]. «e-Loran» использует низкочастотные радиоволны (в диапазоне от 90 до 110 кГц) и сигнал большой мощности, и его почти невозможно замаять, поэтому хакерам понадобится очень мощный передатчик с большой антенной и большим количеством энергии.

Кроме того, стоит отметить, что морские транспортные компании по-прежнему в значительной степени не защищены от потенциальных кибератак. В июне 2017 года кибератака вызвала перебои в компьютерных системах транспортной компании "Maersk" по всему миру. В результате чего прибыли этой компании сократились до 300 млн. долл.

На рисунке 7 представлен подход балтийского и международного морского совета (БИМКО) к кибербезопасности в руководстве по кибербезопасности на борту судов (Guidelines on Cyber Security Onboard Ships) [30].



Рис. 7. Подход к кибербезопасности, изложенный в руководстве по кибербезопасности на борту судов

Шесть основных концепций эффективного управления кибер-рисками включают 1) выявление угроз; 2) выявление уязвимостей; 3) оценку рисков; 4) разработку мер защиты и обнаружения; 5) создание планов действий в чрезвычайных ситуациях и реагирование и восстановление после инцидентов кибербезопасности.

### 6. Е-навигация

Концепция е-навигации появилась в 2006 году, когда Международная морская организация (ИМО) приняла решение о включении определенной стратегии интеграции новых и существующих навигационных средств для повышения эффективности, и безопасности судов на море. Е-навигация определяется как «согласованный сбор, интеграция, обмен, представление и анализ морской информации на борту и на берегу с помощью электронных средств в целях повышения эффективности судоходства от причала до причала и соответствующих услуг по обеспечению безопасности и охраны на море и защите морской среды» [15].

Обеспечение правильной работы технологии е-навигации будет иметь основополагающее значение для БЭС, например, проект «MUNIN» может способствовать повышению эффективности навигационной безопасности в области Е-навигации. Детальные процедуры и ситуации безэкипажного судовождения в условиях Е-Навигации будут выполняться в виртуальной среде ведущими компаниями российской Федерации [16].

### 7. Ожидаемые результаты проектов БЭС

Ожидается, что дальнейшая разработка БЭС даст огромные преимущества, такие как более низкие затраты на разработку и эксплуатацию, улучшение безопасности и охраны экипажей, надежность и точность судовых операций, большую автономность, а также повышенную гибкость в сложных условиях.

Другим ключевым фактором технологии БЭС является потенциал сокращения выбросов и экономии затрат на топливо и экипаже в долгосрочной перспективе.

Например: 1. норвежский проект «Yara Birkeland» станет первым в мире полностью электрическим контейнерным судном, сократит выбросы NOx и CO2 и улучшит безопасность плавания [1,6].

2. европейский проект «MUNIN», акроним от «Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks». Целью проекта произвести технико-экономическое обоснования внедрения БЭС. Предполагается, что потребление электроэнергии «MUNIN» в сопоставлении с аналогичным судном составит только 60% от потребления электроэнергии. В таблице 1 представлено

потребность электрической мощности для стандартного контейнеровоза с экипажем и без них [10].

Оскар Левандер, руководитель отдела инноваций Rolls-Royce, сообщил, что «судно без экипажа будет использовать на 15% меньше энергии, вследствие отсутствия жилых помещений. Это означает меньше веса, меньше потребления энергии, потому что не нужно электричество для всех помещений и всех систем, а также меньше сопротивление ветра. Поэтому стоимость строения БЭС будет дешевле существующих обычных судов» [4].

Таблица 1

Потребность электрической мощности для стандартного контейнеровоза с экипажем и без него [10]

Потребитель	Общая номинальная мощность (кВт)	Общая номинальная мощность при эксплуатации в море (кВт)		Предполагаемое сокращение (%)
		с экипажем	без экипажа	
Вспомогательные системы для пропульсивной службы	1168	403,9	403,9	0%
Вспомогательные системы для эксплуатации судов	142,8	76,6	76,6	0%
Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха	374,3	309,3	0	100%
Камбуз и прачечная	178,6	138,4	0	100%
Палубные механизмы	609,5	137,5	137,5	0%
Вентиляция грузовых помещений	49,6	43,5	43,5	0%
Освещение	91	81	40,5	50%
Другие вспомогательные системы	42,2	37	37	0%
<b>Общая подключенная нагрузка</b>	<b>2656</b>	<b>1227,2</b>	<b>739</b>	<b>40%</b>

Каждый проект БЭС отличается от других своими специфическими особенностями. Среди этих особенностей проекта «ReVolt» есть уменьшения воздействия кавитации, благодаря окончательной конструкции гребного винта. Поэтому КПД

двигателя составляет около 76% [9]. А также за время эксплуатации «ReVolt» сэкономит около 34 миллионов долларов США на эксплуатационных расходах в течение 30-летнего срока службы по сравнению с обычным судном (рис. 8).

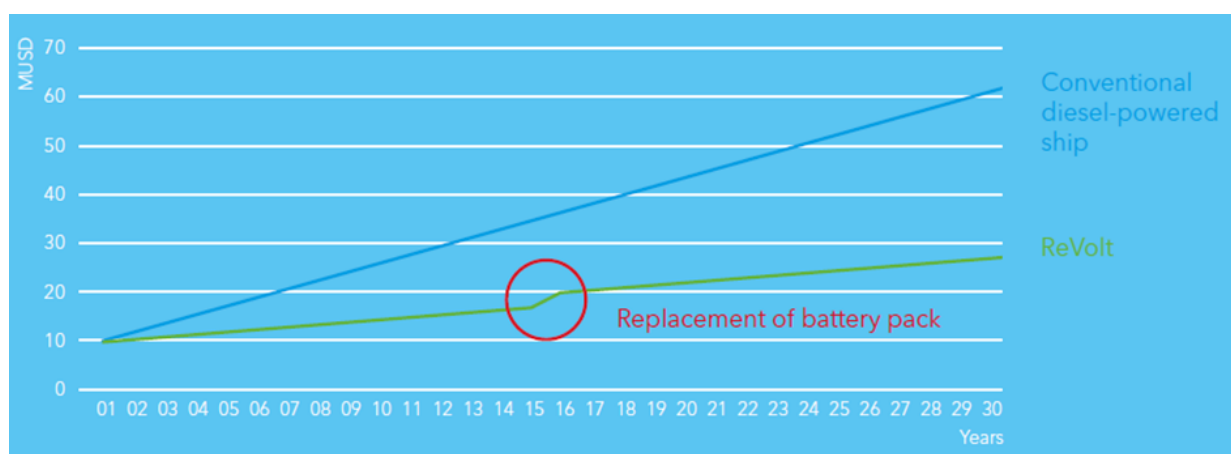


Рис. 8. Эксплуатационный расход проекта «ReVolt» по сравнению с обычным судном [9]

**Заключение**

Дальнейшая разработка проектов БЭС и их реализация даст конкурентные преимущества для государств, транснациональных корпораций, владевших указанными технологиями первыми в мире. Фактически использование БЭС переформирует рынки морских перевозок, в виду

получения судоходными компаниями значительных преимуществ.

С мая 2018 года в рамках дорожной карты «Маринет» Национальной технологической инициативы (НТИ) образован консорциум участников высших учебных заведений и научно-исследовательских организаций – Каспийский распределенный центр «Маринет» НТИ. В рамках деятельности «центра» сформированы основные стратегические

направления для осуществления перехода морской индустрии в цифровую экономику. В настоящее время проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в направлении исследований БЭС. Участники консорциума открыты для проведения совместных научных исследований.

Результаты исследования БЭС позволяют понять важность существующих технологий и их влияние на развитие судоходной отрасли. В публикации представлен анализ основных рисков внедрения, особое внимание уделяется кибер-риск.

#### Литература

1. Титов А.В., Баракат Л. Перспективы технологического развития и внедрения безэкипажных судов //Морские интеллектуальные технологии. 2018. – Т. 1. – №. 3(41). – С 94–103.
2. Wróbel, K., Krata, P., Montewka, J., & Hinz, T. (2016). Towards the development of a risk model for unmanned vessels design and operations. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10.
3. AGCS\_Safety Shipping Review. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/AGCS\\_Safety\\_Shipping\\_Review\\_2017.pdf](https://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/AGCS_Safety_Shipping_Review_2017.pdf). (дата обращения: 01.10.2018).
4. Autonomous Ships – 2016 White paper. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sipotra.it/wp-content/uploads/2017/05/Autonomous-Ships.pdf>. (дата обращения: 15.10.2018).
5. Maritime unmanned navigation through intelligence in networks. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2013/01/MUNIN-Brochure.pdf>. (дата обращения: 10.10.2018).
6. Gordon C. M., et al. "Autonomous Ships 101". *Journal of Ocean Technology* 12.3 (2017): 23-27.
7. Method of and apparatus for controlling mechanism of moving vessels or vehicles. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nuenergy.org/uploads/tesla/US613809.pdf>. (дата обращения: 01.10.2018).
8. Vinnem, J. E., & Utne, I. B. (2018). Risk from cyberattacks on autonomous ships. In *Safety and Reliability–Safe Societies in a Changing World* (pp. 1485-1492). CRC Press.
9. The next revolt. [Электронный ресурс]. URL: <http://gcaptain.com/wp-content/uploads/2014/09/ReVolt-Details.pdf>. (дата обращения: 12.10.2018).
10. MUNIN. D9.3: Quantitative assessment. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/10/MUNIN-D9-3-Quantitative-assessment-CML-final.pdf>. (дата обращения: 20.09.2018).
11. Rødseth, Ørnulf Jan, and H-C. Burmeister. "Risk assessment for an unmanned merchant ship." *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 9.3 (2015): (pp 357-364).
12. Rylander, R., & Man, Y. (2016). Autonomous safety on vessels. *Hämtat från Lighthouse/* [Электронный ресурс]. URL: [http://www.lighthouse.nu/sites/www.lighthouse.nu/files/autonomous\\_safety\\_on\\_vessels\\_-\\_webb.pdf](http://www.lighthouse.nu/sites/www.lighthouse.nu/files/autonomous_safety_on_vessels_-_webb.pdf). (дата обращения: 25.10.2018).
13. Japan Transport Safety Board. [Электронный ресурс]. [http://www.mlit.go.jp/jtsb/statistics\\_mar.html](http://www.mlit.go.jp/jtsb/statistics_mar.html). (дата обращения: 28.10.2018).
14. MUNIN. D8.7: Final Report: Autonomous Engine Room. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/09/MUNIN-D8-7-Final-Report-Autonomous-Engine-Room-MSoft-final.pdf>. (дата обращения: 27.10.2018).
15. Strategy for the development and implementation of e-navigation. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Navigation/Documents/enavigation/MSC%2085%20-%20annex%20-%20Strategy%20for%20the%20development%20and%20implementation%20of%20e-nav.pdf>. (дата обращения: 28.10.2018).
16. Перспективы безэкипажного судовождения и е-Навигации. [Электронный ресурс]. URL: <http://pro-arctic.ru/13/12/2016/technology/24519/>. (дата обращения: 29.10.2018).
17. Бабурина О.Н., Ботнарюк М.В., Кондратьев С.И. Интеллектуальные проблемы реализации дорожной карты развития морской отрасли России («MariNet») в рамках Национальной технологической инициативы // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – №3 (41). – Т. 1. – С. 190-199.
18. Зайкова С.Н., Титов А.В. и др. Правовые риски использования морских безэкипажных судов //Евразийский юридический журнал. – 2017. – №9. – С. 127-130.
19. Gheorghiu A., Boscoianu M. Survivability rate among pilots in case of ejection //INCAS Bulletin. – 2015. – Т. 7. – №2. – С. 14.
20. Autopilot Systems. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.flight-mechanic.com/autopilot-systems/>. (дата обращения: 14.11.2018).
21. «Швабе» создает тепловизионную камеру с использованием наноструктур. [Электронный ресурс]. URL: <https://rostec.ru/news/shvabe-sozdaet-teplovizionnyu-kameru-s-ispolzovaniem-nanostruktur/>. (дата обращения: 14.11.2018).
22. Guidelines on maritime cyber risk management. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.imo.org/en/OurWork/Security/Guide\\_to\\_Maritime\\_Security/Documents/MSC-FAL.1-Circ.3%20-%20Guidelines%20On%20Maritime%20Cyber%20Risk%20Management%20\(Secretariat\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Security/Guide_to_Maritime_Security/Documents/MSC-FAL.1-Circ.3%20-%20Guidelines%20On%20Maritime%20Cyber%20Risk%20Management%20(Secretariat).pdf). (дата обращения: 15.11.2018).
23. Jana Rodica, LL.M. The Cyber future of Marine Risk and Insurance. [Электронный ресурс]. URL: <http://intranslaw.hdt.eu/the-cyber-future-of-marine-risk-and-insurance/>. (дата обращения: 15.11.2018).
24. In Depth: Shipping Still a Moving Target for Cyber Threats. [Электронный ресурс]. URL: <https://worldmaritimenews.com/archives/235048/interview-shipping-still-a-moving-target-for-cyber-threats/>. (дата обращения: 17.11.2018).

25. Cyber-risk exercises marine insurers. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.allaboutshipping.co.uk/2018/02/07/cyber-risk-exercises-marine-insurers/> (дата обращения: 17.11.2018).
26. Cyber Security Aspects in the Maritime Sector. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/cyber-security-aspects-in-the-maritime-sector-1> (дата обращения: 17.11.2018).
27. The Little-known Challenge of Maritime Cyber Security. [Электронный ресурс]. URL: <http://archive.dimacs.rutgers.edu/People/Staff/froberts/MaritimeCyberSecurityCorfu7-5-15.pptx.pdf>. (дата обращения: 18.11.2018).
28. Navigation under cyber-attack. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.marineoffshoretechnology.net/features-news/navigation-under-cyber-attack> (дата обращения: 19.11.2018).
29. Bosneagu R. GPS VERSUS ELORAN //Scientific Bulletin" Mircea cel Batran" Naval Academy. – 2016. – Т. 19. – №. 2. – С. 135.
30. The Guidelines on Cyber Security Onboard Ships. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ics-shipping.org/docs/default-source/resources/safety-security-and-operations/guidelines-on-cyber-security-onboard-ships.pdf?sfvrsn=16> (дата обращения: 20.11.2018).
31. URL: [http://portnews.ru/news/268041/?fbclid=IwAR3czW\\_C1NIGzOI3YKxtA30KKEXeX0dsgCb2-C0djhjilGcCW1qgYLqсBJU](http://portnews.ru/news/268041/?fbclid=IwAR3czW_C1NIGzOI3YKxtA30KKEXeX0dsgCb2-C0djhjilGcCW1qgYLqсBJU) (дата обращения: 21.11.2018).

### References

1. Titov A.V., Barakat L. Perspektivy tekhnologicheskogo razvitiya i vnedreniya bezekipazhnykh sudov //Morskiye intellektualnyye tekhnologii. 2018. – Т. 1. – №. 3(41). С 94–103.
2. Wróbel. K., Krata. P., Montewka. J., & Hinz. T. (2016). Towards the development of a risk model for unmanned vessels design and operations. TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 10.
3. AGCS\_Safety Shipping Review. [Elektronnyy resurs]. URL: [https://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/AGCS\\_Safety\\_Shipping\\_Review\\_2017.pdf](https://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/AGCS_Safety_Shipping_Review_2017.pdf). (data obrashcheniya: 01.10.2018).
4. Autonomous Ships – 2016 White paper. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.sipotra.it/wp-content/uploads/2017/05/Autonomous-Ships.pdf>. (data obrashcheniya: 15.10.2018).
5. Maritime unmanned navigation through intelligence in networks. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2013/01/MUNIN-Brochure.pdf>. (data obrashcheniya: 10.10.2018).
6. Gordon C. M., et al. "Autonomous Ships 101". Journal of Ocean Technology 12.3 (2017): 23-27.
7. Method of and apparatus for controlling mechanism of moving vessels or vehicles. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.nuenergy.org/uploads/tesla/US613809.pdf>. (data obrashcheniya: 01.10.2018).
8. Vinnem, J. E., & Utne, I. B. (2018). Risk from cyberattacks on autonomous ships. In Safety and Reliability–Safe Societies in a Changing World (pp. 1485-1492). CRC Press.
9. The next revolt. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://gcaptain.com/wp-content/uploads/2014/09/ReVolt-Details.pdf>. (data obrashcheniya: 12.10.2018).
10. MUNIN. D9.3: Quantitative assessment. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/10/MUNIN-D9-3-Quantitative-assessment-CML-final.pdf>. (data obrashcheniya: 20.09.2018).
11. Rødseth, Ørnulf Jan, and H-C. Burmeister. "Risk assessment for an unmanned merchant ship." TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation 9.3 (2015): (pp 357-364).
12. Rylander, R., & Man, Y. (2016). Autonomous safety on vessels. Hämtat från Lighthouse/ [Elektronnyy resurs]. URL: [http://www.lighthouse.nu/sites/www.lighthouse.nu/files/autonomous\\_safety\\_on\\_vessels\\_-\\_webb.pdf](http://www.lighthouse.nu/sites/www.lighthouse.nu/files/autonomous_safety_on_vessels_-_webb.pdf). (data obrashcheniya: 25.10.2018).
13. Japan Transport Safety Board. [Elektronnyy resurs]. [http://www.mlit.go.jp/itsb/statistics\\_mar.html](http://www.mlit.go.jp/itsb/statistics_mar.html). (data obrashcheniya: 28.10.2018).
14. MUNIN. D8.7: Final Report: Autonomous Engine Room. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/09/MUNIN-D8-7-Final-Report-Autonomous-Engine-Room-MSoft-final.pdf>. (data obrashcheniya: 27.10.2018).
15. Strategy for the development and implementation of e-navigation. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Navigation/Documents/enavigation/MS%202085%20-%20annex%2020%20-%20Strategy%20for%20the%20development%20and%20implementation%20of%20e-nav.pdf>. (data obrashcheniya: 28.10.2018).
16. Perspektivy bezekipazhnogo sudovozhdeniya i e-Navigatsii. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://pro-arctic.ru/13/12/2016/technology/24519/>. (data obrashcheniya: 29.10.2018).
17. Baburina O.N., Botnaryuk M.V., Kondratyev S.I. Intellektualnyye problemy realizatsii dorozhnoy karty razvitiya morskoy otrasli Rossii («MariNet») v ramkakh Natsionalnoy tekhnologicheskoy initsiativy //Morskiye intellektualnyye tekhnologii. 2018. № 3 (41). T.1. S. 190-199.
18. Zaykova S.N., Titov A.V. i dr. Pravovyye riski ispolzovaniya morskikh bezekipazhnykh sudov //Evraziyskiy yuridicheskiy zhurnal. – 2017. – №. 9. – S. 127-130.
19. Gheorghiu A., Boscoianu M. Survivability rate among pilots in case of ejection //INCAS Bulletin. – 2015. – Т. 7. – №. 2. – S. 14.
20. Autopilot Systems. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.flight-mechanic.com/autopilot-systems/>. (data obrashcheniya: 14.11.2018).

21. «Shvabe» sozdayet teplovizionnuyu kameru s ispolzovaniyem nanostruktur. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://rostec.ru/news/shvabe-sozdaet-teplovizionnuyu-kameru-s-ispolzovaniem-nanostruktur/>. (data obrashcheniya: 14.11.2018).
22. Guidelines on maritime cyber risk management. [Elektronnyy resurs]. URL: [http://www.imo.org/en/OurWork/Security/Guide\\_to\\_Maritime\\_Security/Documents/MSC-FAL.1-Circ.3%20-%20Guidelines%20On%20Maritime%20Cyber%20Risk%20Management%20\(Secretariat\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Security/Guide_to_Maritime_Security/Documents/MSC-FAL.1-Circ.3%20-%20Guidelines%20On%20Maritime%20Cyber%20Risk%20Management%20(Secretariat).pdf). (data obrashcheniya: 15.11.2018).
23. Jana Rodica. LL.M. The Cyber future of Marine Risk and Insurance. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://intranslaw.htdp.eu/the-cyber-future-of-marine-risk-and-insurance/> (data obrashcheniya: 15.11.2018).
24. In Depth: Shipping Still a Moving Target for Cyber Threats. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://worldmaritimeneews.com/archives/235048/interview-shipping-still-a-moving-target-for-cyber-threats/> (data obrashcheniya: 17.11.2018).
25. Cyber-risk exercises marine insurers. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.allaboutshipping.co.uk/2018/02/07/cyber-risk-exercises-marine-insurers/> (data obrashcheniya: 17.11.2018).
26. Cyber Security Aspects in the Maritime Sector. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/cyber-security-aspects-in-the-maritime-sector-1> (data obrashcheniya: 17.11.2018).
27. The Little-known Challenge of Maritime Cyber Security. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://archive.dimacs.rutgers.edu/People/Staff/froberts/MaritimeCyberSecurityCorfu7-5-15.pptx.pdf> (data obrashcheniya: 18.11.2018).
28. Navigation under cyber-attack. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.marineoffshoretechnology.net/features-news/navigation-under-cyber-attack> (data obrashcheniya: 19.11.2018).
29. Bosneagu R. GPS VERSUS ELORAN //Scientific Bulletin" Mircea cel Batran" Naval Academy. – 2016. – Т. 19. – №. 2. – S. 135.
30. The Guidelines on Cyber Security Onboard Ships. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.ics-shipping.org/docs/default-source/resources/safety-security-and-operations/guidelines-on-cyber-security-onboard-ships.pdf?sfvrsn=16> (data obrashcheniya: 20.11.2018).
31. URL: [http://portnews.ru/news/268041/?fbclid=IwAR3czW\\_C1NIGzOI3YKxtA30KKEXeX0dsgCb2-CODjhjilGcCW1qqYLqcBJU](http://portnews.ru/news/268041/?fbclid=IwAR3czW_C1NIGzOI3YKxtA30KKEXeX0dsgCb2-CODjhjilGcCW1qqYLqcBJU) (data obrashcheniya: 21.11.2018).



УДК [629.5.012+629.05.016.7/8]:629.561.5

## АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ДВИЖИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЛЕДОКОЛОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В СЕВЕРНОМ КАСПИИ

**Алена Александровна Темникова**

старший преподаватель кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: awe\_12@mail.ru

**Анатолий Рашидович Рубан**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Елена Прокофьевна Карлина**

доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Производственный менеджмент»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: imtet@astu.org

**Герман Александрович Тактаров**

доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Финансы и учет»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: imtet@astu.org

### Аннотация

При выборе проектного решения движительного комплекса судна в первую очередь следует руководствоваться минимизацией мощностных затрат, что напрямую влияет на экономическую составляющую проекта как при постройке, так и при эксплуатации судна.

Проблема анализа проектных решений связана со способом выбора наиболее подходящего варианта для заданного района плавания. Анализ также усугубляется сложностью при работе с неопределенностью исходных данных, которую целесообразно вводить для повышения вариативности комбинаций параметров движительного комплекса, что повышает вероятность не потерять оптимальные проектные решения на более ранних этапах проектирования.

Существующие методики делают упор на экспериментальной составляющей и сужают неопределенность исходных данных конкретизацией одного или нескольких параметров. Представленный способ анализа проектных решений движительного комплекса наглядно показывает, как работать с неопределенностью исходных данных с учетом разброса параметров.

**Ключевые слова:** движительный комплекс, проектные решения, множество значений, ледокол.

## THE ANALYSIS OF THE DESIGN SOLUTIONS OF THE PROPULSION COMPLEX OF ICEBREAKERS OPERATED IN THE NORTHERN CASPIAN

**Alena A. Temnikova**

the senior lecturer of department "Shipbuilding and power complexes of marine engineering"  
Astrakhan state technical university  
Tatishcheva, 16, Astrakhan, 414056, Russian Federation  
E-mail: astu@astu.org

**Anatoly R. Ruban**

the associate professor, Cand. Sci. Tech.,  
the head of department "Shipbuilding and energetic complexes of marine technology"  
Astrakhan State Technical University  
Tatishcheva, 16, Astrakhan, 414056, Russian Federation  
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Elena P. Karlina**

the professor, Dr. Sci. Econ., the professor of department "Production management"  
Astrakhan state technical university  
Tatishcheva, 16, Astrakhan, 414056, Russian Federation  
E-mail: mtet@astu.org

**German A. Taktarov**

the professor, Dr. Sci. Econ., the professor of department "Finance and accounting"  
Astrakhan state technical university  
Tatishcheva, 16, Astrakhan, 414056, Russian Federation  
e-mail: imtet@astu.org

### Abstract

When choosing a design solution for a ship's propulsion complex, one should first of all be guided by the minimization of power spending, which directly affects the economic component of the project, both during construction and operation of the ship.

The problem of analyzing design decisions is related to the method of choosing the most suitable option for a given navigation area. The analysis is also exacerbated by the complexity of working with the uncertainty of the source data, which it is advisable to introduce to increase the variability of combinations of parameters of the propulsion complex, which increases the probability of not losing the optimal design decisions earlier in the design process.

Existing techniques focus on the experimental component and reduce the uncertainty of the source data by specifying one or more parameters. The presented method of analyzing the design decisions of the propulsion complex clearly shows how to work with the uncertainty of the source data, taking into account the variation of parameters.

**Key words:** propulsion complex, design solutions, set of values, icebreaker.

### Введение

При проектировании движительного комплекса судна возникает вопрос о способе выбора наиболее подходящего для заданного района плавания судна проектного решения. Для ледоколов данный вопрос наиболее актуален в силу сложности работы судов во льдах.

Над решением активно работали С.В. Антоненко [2] и М.В. Китаев [5], сравнивая эффективность различных гребных винтов в зависимости от режима эксплуатации судна. В этих работах рассматривается оптимизация основных характеристик судна по условиям ходкости, при этом принимается, что главный двигатель задан. На этих работах основываются расчеты сопротивления ледоколов, эксплуатируемых в Северном Каспии и ВКМСК, и параметров гребных винтов [8] и [10].

Анализом движительно-рулевых комплексов судов ледового плавания и ледоколов занимался А.В. Андришин [1], делая упор на экспериментальной части исследования.

Определение характеристик движительного комплекса судна, ко всему прочему, может быть усложнен неопределенностью исходных данных. В проектировании судна известны такие способы оптимизации, как «метод вариаций», «метод сопоставления вариантов» и др., рассмотренные в работах В. В. Ашика [3], В. М. Пашина [6], А. В. Бронникова [4] и др. Работа с неопределенностью данных затрагивается в исследованиях М. Г. Шайдуллина [12] и М. Э. Францева [11]. Все эти методы рассматриваются для начальных этапов проектирования судна, и к моменту выбора характеристик движительного комплекса проектант имеет дело лишь с одним или несколькими (для сравнения) вариантами исходных данных. Это может привести к потере оптимальных комбинаций значений главных размерений и параметров движительного комплекса.

### 1. Постановка задачи

При выборе проектного решения движительного комплекса судна в первую очередь следует руководствоваться минимизацией мощностных затрат, что напрямую влияет на экономическую составляющую проекта как при постройке, так и при эксплуатации судна. Из этого условия необходимо выбрать тип, количество и размерные параметры движителей. В условиях неопределенности исходных данных, а именно широкого диапазона

главных размерений, процесс выбора становится затруднительным. И встает вопрос о способах сравнительного анализа различных проектных решений движительного комплекса.

### 2. Выбор проектных решений и определение сравнительной базы

Неопределенность исходных данных для ледоколов, эксплуатируемых в Северном Каспии и Волго-Каспийском морском судоходном канале (ВКМСК), задавалась диапазонами главных размерений (с учетом условий эксплуатации и безопасности работы гребных винтов) и отображена в работах [7], [8] и [10]:

- длина (71÷94м);
- ширины (16÷20м);
- осадки (3,04÷4,20м).

Для анализа проектных решений в тех же работах выделены:

- 1) количество движителей:
  - a) 2-винтовая судовая энергетическая установка;
  - b) 3-винтовая судовая энергетическая установка;
- 2) серия гребных винтов:
  - a) винты фиксированного шага без насадки серии ZV;
  - b) винты фиксированного шага с насадкой серии NT;
  - c) винты регулируемого шага без насадки серии AU-CP;
  - d) винты регулируемого шага с насадкой серии NR;
- 3) диаметр гребных винтов:
  - a) 50% от осадки судна;
  - b) 60% от осадки судна;
  - c) 70% от осадки судна.

### 3. Анализ проектных решений движительного комплекса

Для определения оптимальных характеристик движительного комплекса ледоколов с точки зрения минимизации затрачиваемой мощности для двух- и трехвинтовой СЭУ строятся зависимости мощностей двигателя от водоизмещения судна (при этом рассматривается вариант с минимальным КПД передач, который соответствует использованию электродвигателя постоянного тока и редуктора) – рис.1 и 2. Отображения расчетных значений мощности в зависимости от водоизмещения позволяет перенести трехмерную область исходных данных (длина, ширина, осадка) в двумерную. Для каждого проектного решения область данных изображается как четырехугольник, что связано с

влиянием осадки судна (по меньшим сторонам четырехугольников). Области 4, 6 и 7 (рис. 1) и 9 (рис. 2) заведомо считаются неоптимальными, так как по одному из ранее рассмотренных критериев оптимизации (безопасность работы гребных винтов, ограничения по частоте оборотов и др.) расчетные главные размерения не вписываются в допустимые. Например, для 3-винтовой СЭУ (рис. 1) проектное решение № 4 является неоптимальным, так как расчетный диапазон осадок  $3,31 \div 3,65$  не пересекается с допустимым  $3,66 \div 4,2$  м.

На следующем этапе анализа отбрасываются неоптимальные проектные решения и определяется граница минимальных характеристик, которые бы обеспечивали минимизацию затрачиваемой мощности – рис. 3 (для проектных решений отображается суммарная мощность судового энергетического комплекса). Таким образом, получаются области оптимального использования серии и количества гребных винтов в зависимости от водоизмещения – рис. 4.

Согласно полученной диаграмме областей оптимальных проектных решений движительного комплекса для ледоколов, эксплуатируемых в Северном Каспии и ВКМСК (рис. 4):

- 1) оптимальный интервал расчетных мощностей двигателя составляет:
  - а) при установке одного двигателя на каждый винт –  $2532,63 \div 4234,5$  кВт (3-винтовая СЭУ);
  - б) при установке двух двигателей на каждый винт –  $1266,32 \div 2117,25$  кВт (3-винтовая СЭУ);
  - с) при установке одного двигателя на каждый винт –  $3267,58 \div 5332,57$  кВт (2-винтовая СЭУ);
  - д) при установке двух двигателей на каждый винт –  $1633,79 \div 2666,29$  кВт (2-винтовая СЭУ);
- 2) оптимальный интервал расчетных мощностей энергетического комплекса  $6535,16 \div 12703,5$  кВт;
- 3) общий интервал частот вращения на гребном валу составляет  $280 \div 560$  об/мин;
- 4) расчетные интервалы главных размерений из условия оптимальности использования гребных винтов изменяются следующим образом:
  - а) длина судна между перпендикулярами:  $L_{пп} = 71 \div 92,46$  м;
  - б) ширина судна:  $B = 16 \div 20$  м;

с) осадка судна:  $T = (3,04 \div 3,11)$  и  $(3,85 \div 4,2)$  м.

#### 4. Обсуждение результатов

Согласно [9] совокупность рассматриваемых ледоколов попадает на стык двух групп: группа Arc (от 1000 до 10000 кВт) и группа Icebreaker (свыше 10000 кВт). По результатам статистического анализа, имея заданную ледопробиваемость  $t = 1,0$  м, можно рассчитать среднюю величину мощность СЭК Ne, кВт.

Если рассматривать зависимость средней величины показателя удельной ледопробиваемости, то:

для группы Arc -  $Ne = t / (1,831 \times 10^{-4}) = 1 / (1,831 \times 10^{-4}) = 5461,5$  кВт;

для группы Icebreaker -  $Ne = t / (0,662 \times 10^{-4}) = 1 / (0,662 \times 10^{-4}) = 15105,74$  кВт.

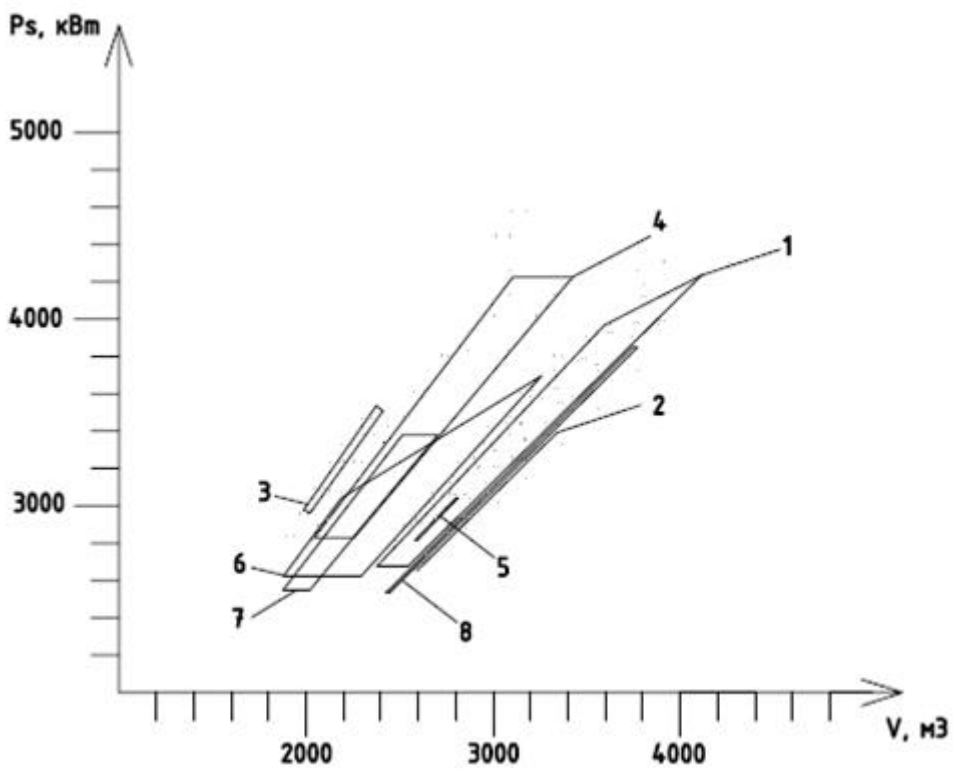
Если рассматривать уравнение линии тренда показателя удельной ледопробиваемости, то:

для группы Arc -  $Ne = 6583,7t^{1,32} = 6583,7 \times 1^{1,32} = 6583,7$  кВт;

для группы Icebreaker -  $Ne = 6760,8e^{0,82t} = 6760,8 \times (2,7183)^{0,82} = 15350,48$  кВт.

Сравнение показывает, что статистические данные находятся на границах рассматриваемого интервала значений мощности СЭК ( $6535,16 \div 12703,5$  кВт). Получается, что проектируемое судно с учетом введенных критериев оптимизации движительного комплекса находится между категориями ледовых усилений Arc и Icebreaker, что типично для выбранного района эксплуатации: Северный Каспий и ВКМСК.

Выбор проектного решения движительного комплекса в итоге сводится к определению его параметров с помощью диаграммы (рис. 4) по требуемому водоизмещению или мощности. При этом учет неопределенности исходных данных позволяет увидеть, что минимальная мощность необязательно должна совпадать с минимальным водоизмещением. Таким образом, применение стандартных методик привело бы к потере более привлекательных проектных решений на этапе выбора движительного комплекса.



1) ZV (0,7T;3)	<p><math>L_{пп} = 71...92,46</math> м  <math>B = 16...20</math> м  <math>T = 3,04...4,12</math> м (доп. 3,85...4,12 м)  <math>n = 320...480</math> об/мин  <math>v = 15,44...16,27</math> узлы</p>	5) AU-CP (0,5T;3)	<p><math>L_{пп} = 71...94</math> м (доп. 71...74,86 м)  <math>B = 16...20</math> м (доп. 16...16,45 м)  <math>T = 3,83...4,2</math> м (доп. 4,18...4,2 м)  <math>n = 480...560</math> об/мин  <math>v = 14,56...16,32</math> узлы</p>
2) ZV (0,6T;3)	<p><math>L_{пп} = 71...94</math> м (доп. 71...73,15 м)  <math>B = 16...20</math> м  <math>T = 3,61...4,2</math> м (доп. 4,19...4,2 м)  <math>n = 352,8...480</math> об/мин  <math>v = 14,56...16,32</math> узлы</p>	6) NR (0,7T;3)	<p><math>L_{пп} = 71...87,64</math> м  <math>B = 16...19,96</math> м (доп. 16...19,84 м)  <math>T = 3,04...3,71</math> м (доп. 3,93...4,2 м)  <math>n = 300...371,09</math> об/мин  <math>v = 15,16...16,18</math> узлы</p>
3) AU-CP (0,7T;3)	<p><math>L_{пп} = 74,16...80,98</math> м  <math>B = 16,02...17,5</math> м  <math>T = 3,04...3,11</math> м  <math>n = 480...492,42</math> об/мин  <math>v = 15,7...16,18</math> узлы</p>	7) NT (0,7T;3)	<p><math>L_{пп} = 71...82,56</math> м  <math>B = 16...18,42</math> м  <math>T = 3,04...3,27</math> м (доп. 3,42...4,2 м)  <math>n = 360...395,78</math> об/мин  <math>v = 15,4...16,2</math> узлы</p>
4) AU-CP (0,6T;3)	<p><math>L_{пп} = 71...87,05</math> м  <math>B = 16...19,82</math> м  <math>T = 3,31...3,65</math> м (доп. 3,66...4,2 м)  <math>n = 480...560</math> об/мин  <math>v = 15,1...16,17</math> узлы</p>	8) NT (0,6T;3)	<p><math>L_{пп} = 71...89,78</math> м  <math>B = 16...20</math> м (доп. 16...19,51 м)  <math>T = 3,11...3,96</math> м (доп. 3,93...3,96 м)  <math>n = 360...480</math> об/мин  <math>v = 14,98...16,21</math> узлы</p>

Рис. 1. Зависимости мощностей двигателя от водоизмещения судна при 3-винтовой СЭУ

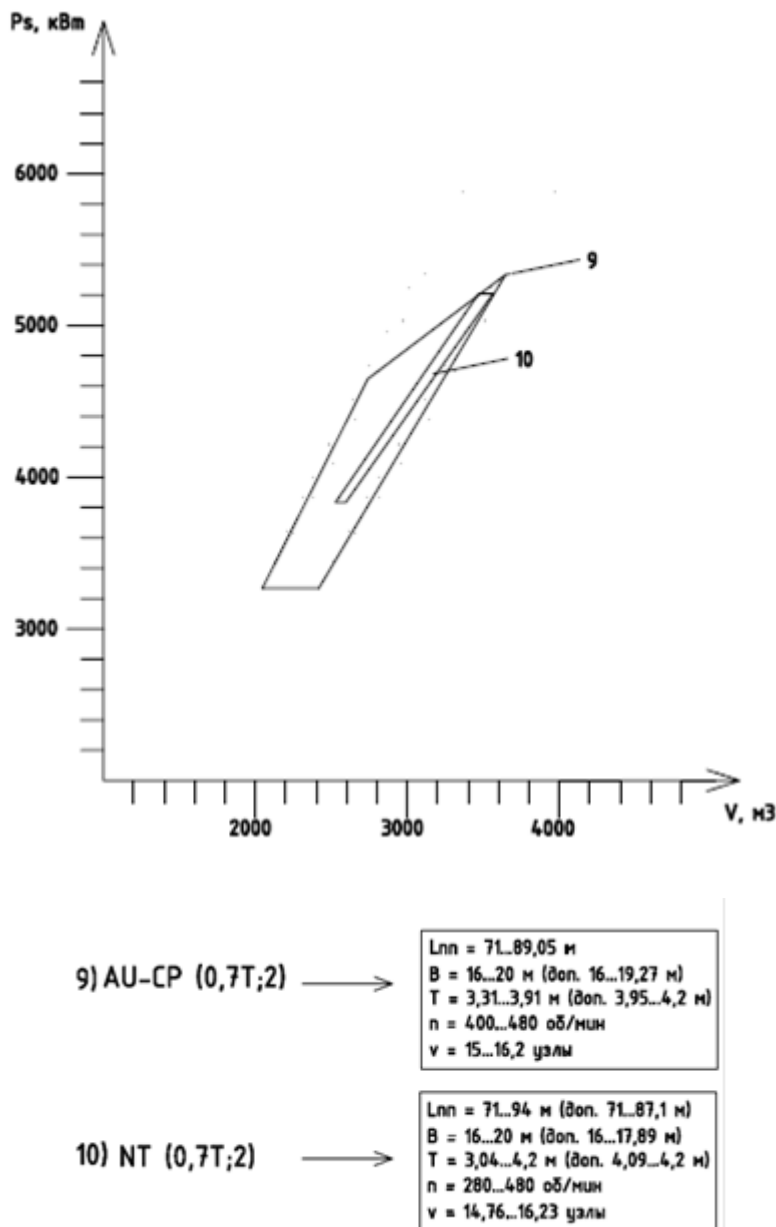


Рис. 2. Зависимости мощностей двигателя от водоизмещения судна при 2-винтовой СЭУ

**Заключение**

Способ выбора проектного решения движительного комплекса судна напрямую влияет на экономические показатели судна. Поэтому важно не упустить оптимальную комбинацию параметров. Существующие методики делают упор на экспериментальной составляющей и сужают неопределенность исходных данных конкретизацией одного или нескольких параметров (главные размерения, мощность двигателя, диаметр винта и т.д.).

Представленный способ анализа проектных решений движительного комплекса наглядно показывает, как работать с неопределенностью исходных данных с учетом разброса параметров.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

- 1) анализ основывается на использовании стандартных методик, примененных для множества переменных;
- 2) использование стандартных методик привело бы к потере оптимальных комбинаций характеристик движительного комплекса;
- 3) результаты анализа соотносятся со статистическими данными по мощностям ледоколов;
- 4) подробный анализ проектных решений позволяет выбрать необходимый набор параметров под заданные условия.

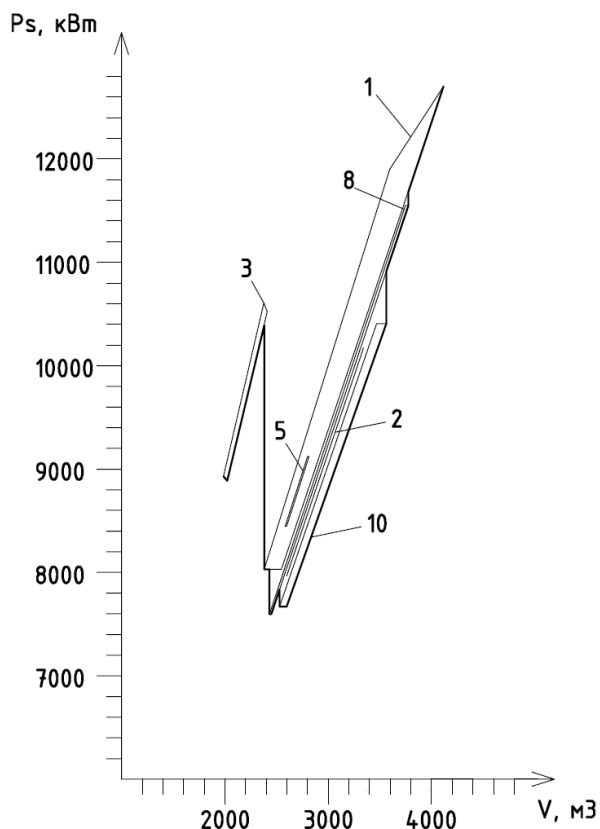


Рис. 3. Зависимости мощностей СЭК от водоизмещения судна (показана граница минимальных характеристик)

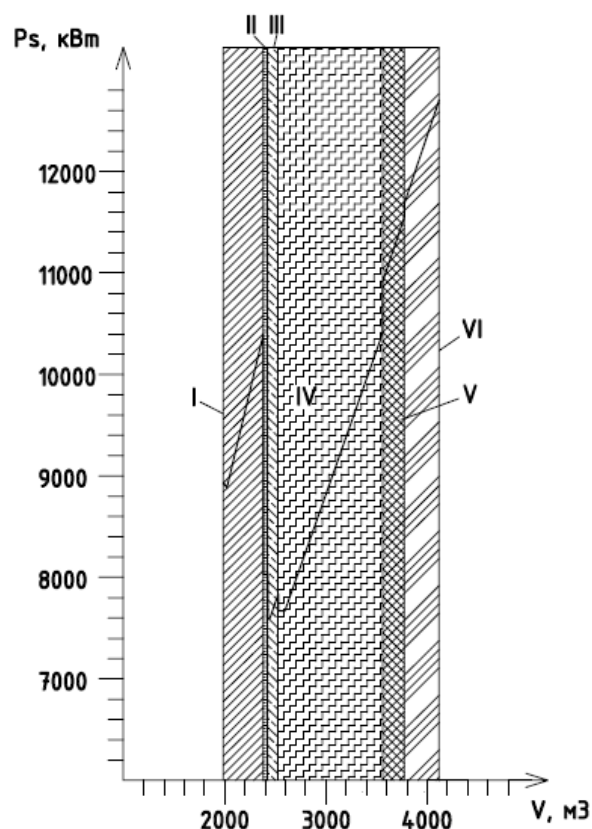


Рис. 4. Области оптимального использования серии и кол-ва гребных винтов в зависимости от водоизмещения:

- зона I: AU-CP (0,7T;3) –  $V = 1987,32 \div 2379,24 \text{ м}^3$ ;
- зона II и зона VI: ZV (0,7T;3) –  $V = 2379,24 \div 2428,68 \text{ м}^3$  и  $V = 3773,38 \div 4115,37 \text{ м}^3$ ;
- зона III и зона V: NT (0,6T;3) –  $V = 2428,68 \div 2527,55 \text{ м}^3$  и  $V = 3560,22 \div 3773,38 \text{ м}^3$ ;
- зона IV: NT (0,7T;2) –  $V = 2527,55 \div 3560,22 \text{ м}^3$ .

В целом исследование дало понимание, что работа с областью неопределенных данных выигрывает на фоне стандартных методик и позволяет более основательно подойти к анализу проектных решений двигательного комплекса.

Область дальнейшего исследования связана с анализом проектных решений судовых энергетических комплексов с вводом переменных по параметрам двигателя, компоновки и комплектации элементов СЭК.

#### Литература

1. Андрушин А.В. Проектирование и отработка движительно-рулевых комплексов судов ледового плавания и ледоколов по результатам экспериментальных исследований: дис. ... канд. техн. наук / спец. 05.08.03, 05.08.01 / - Санкт-Петербург, 1995. - 254 с.
2. Антоненко С.В. Некоторые аспекты проектирования движительных комплексов судов с несколькими режимами движения / С.В. Антоненко, М.В. Китаев. - Мореходство и морские науки-2008: избранные доклады Первой Сахалинской региональной морской научно-технической конференции (12 февраля 2008 г.) / Под ред. В. Н. Храмушина. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2008. – 170 с.
3. Ашик В. В. Проектирование судов / В. В. Ашик. — Л.: Судостроение, 1985. — 320 с.
4. Бронникова А. В. Проектирование судов / А. В. Бронников. — Л.: Судостроение, 1991. — 320 с.
5. Китаев М.В. Обоснование типа и характеристик двигательного комплекса в проектах модернизации судов с несколькими режимами движения: дис. ... канд. техн. наук / спец. 05.08.04 / - Владивосток, 2008. - 162 с.
6. Пашин В. М. Оптимизация судов / В. М. Пашин. — Л.: Судостроение, 1983. — 296 с.
7. Темникова, А.А. Определение рабочей области статистических данных для проектирования ледокола, эксплуатирующегося в Северном Каспии и ВКМСК / А.А. Темникова // Сб. науч. трудов «Проблемы современной науки» - Ставрополь: Логос. – 2014. – №14. – С. 29-36.
8. Темникова, А.А. Определение расчетного диапазона значений ледового сопротивления ледоколов, эксплуатируемых в Волго-Каспийском морском судоходном канале и на Северном Каспии / А.А. Темникова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Научный журнал. Серия: Морская техника и технология. – 2015. – 3/2015. – С. 45-57.
9. Темникова, А.А. Статистический анализ мощностных показателей ледоколов / А.А. Темникова, А.Р. Рубан // Морской вестник. - 2018. - №1(65). - С. 63-67.

10. Темникова, А.А. Сужение области расчетных значений главных размерений ледоколов из условия оптимального использования гребных винтов / А.А. Темникова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Научный журнал. Серия: Морская техника и технология. – 2016. – 1/2016. – С. 38-46.
11. Францев, М.Э. Использование параметрических методов на ранних этапах разработки проекта судна из композитных материалов / М.Э. Францев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2014. — № 1. — С. 33–42.
12. Шайдуллин, М.Г. Решение задачи внешнего проектирования судна в условиях неопределенности / М.Г. Шайдуллин, В.С. Булаткин // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. — 2013. — № 4 (101). — С. 214–221.

#### References

1. Andryushin A.V. Proektirovanie i otrabotka dvizhiteľ'no-rulevykh kompleksov sudov ledovogo plavaniya i ledokolov po rezul'tatam ehksperimental'nykh issledovanij: dis. ... kand. tekhn. nauk spets. 05.08.03, 05.08.01 Sankt-Peterburg, 1995. 254 p.
2. Antonenko S.V. Nekotorye aspekty proektirovaniya dvizhiteľ'nykh kompleksov sudov s neskol'kimi rezhimami dvizheniya S.V. Antonenko, M.V. Kitaev. Morekhodstvo i morskije nauki-2008: izbrannye doklady Pervoj Sakhalinskoj regional'noj morskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (12 fevralya 2008 g.) Pod red. V. N. KHramushina. YUzhno-Sakhalinsk: SakhGU, 2008. 170 p.
3. Ashik V. V. Proektirovanie sudov V. V. Ashik. L.: Sudostroenie, 1985. 320 p.
4. Bronnikova A. V. Proektirovanie sudov A. V. Bronnikov. L.: Sudostroenie, 1991. 320 p.
5. Kitaev M.V. Obosnovanie tipa i kharakteristik dvizhiteľ'nogo kompleksa v proektakh modernizatsii sudov s neskol'kimi rezhimami dvizheniya: dis. ... kand. tekhn. nauk spets. 05.08.04 Vladivostok, 2008. 162 p.
6. Pashin V. M. Optimizatsiya sudov V. M. Pashin. L.: Sudostroenie, 1983. 296 p.
7. Temnikova A.A. Opredelenie rabochej oblasti statisticheskikh dannyx dlya proektirovaniya ledokola, ehkspluatiruyushhegosya v Severnom Kaspii i VKMSK A.A. Temnikova Sb. nauch. trudov «Problemy sovremennoj nauki» Stavropol': Logos, 2014, Vol. 14, pp. 29-36.
8. Temnikova A.A. Opredelenie raschetnogo diapazona znachenij ledovogo soprotivleniya ledokolov, ehkspluatiruemykh v Volgo-Kaspijskom morskome sudokhodnom kanale i na Severnom Kaspii / A.A. Temnikova. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Nauchnyj zhurnal. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya 3/2015. Astrakhan': izd-vo AGTU, 2015. pp. 45-57.
9. Temnikova A.A. Statisticheskij analiz moshhnostnykh pokazatelej ledokolov A.A. Temnikova, A.R. Ruban. V sb.: Morskoi vestnik. 2018. Vol. 1(65). pp. 63-67.
10. Temnikova A.A. Suzhenie oblasti raschetnykh znachenij glavnykh razmerenij ledokolov iz usloviya optimal'nogo ispol'zovaniya grebnykh vintov / A.A. Temnikova. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Nauchnyj zhurnal. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya 1/2016. Astrakhan': izd-vo AGTU, 2016. pp. 38-46.
11. Frantsev M. EH. Ispol'zovanie parametricheskikh metodov na rannikh etapakh razrabotki proekta sudna iz kompozitnykh materialov Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2014. Vol. 1. pp. 33–42.
12. SHajdullin M. G. Reshenie zadachi vneshnego proektirovaniya sudna v usloviyakh neopredelennosti Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva. 2013. Vol. 4 (101). pp. 214–221.

## ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 629.12

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ СБОРКИ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ СУДОВЫХ СИСТЕМ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЯМЫХ ТРУБ

**До Тат Мань**

аспирант кафедры "Судостроение и энергетические комплексы морской техники"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: dotatmanh@gmail.com

#### Аннотация

В данной работе рассматривается проблема повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования с обеспечением возможности изготовления труб без снятия размеров по месту и ее решение в рамках исследований взаимосвязи конфигурации и компенсационных возможностей трубопроводных трасс. Изложена идея об использовании прямых труб для перемещений трассы трубопровода с целью компенсации погрешностей изготовления труб и сборки жёстко фиксированных соединений оборудования, изделий насыщения и т. п., что обеспечивает собираемость трассы без изменения конфигурации готовых труб. В ходе экспериментального расчета определены цель, задачи и разработан план эксперимента, подготовлены необходимые исходные данные. В результате экспериментального расчета подтверждены теоретические прогнозы возможностей сборки трасс трубопроводов на этапе проектирования и концептуальные основы компенсации суммарных отклонений посредством перемещения трасс, способствуя сокращению сроков строительства объектов, насыщенных трубопроводами.

**Ключевые слова:** Область компенсации, изготовление, проектирование, монтаж, трубопроводы, трассировка, забойная труба, пригоняемая труба, отклонение, прямая труба.

### EXPERIMENTAL STUDIES OF THE POTENTIAL FOR ASSEMBLING PIPELINE ROUTES OF MARINE SYSTEMS BY USING STRAIGHT PIPES

**Do Tat Man**

Postgraduate Student, Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: dotatmanh@gmail.com

#### Abstract

In this paper, we consider the problem of improving the processability of pipelines of ship systems at the design stage, ensuring the possibility of producing pipes without dimensioning in situ and solving it within the framework of studies on the relationship between configuration and compensation capabilities of pipeline routes. The idea of using straight pipes to move the pipeline route in order to compensate for errors in the manufacture of pipes and the assembly of rigidly fixed connections of equipment, outfitting, etc., which ensures the assembly of the route without changing the configuration of the finished pipes. In the course of the experimental calculation, the goal, the tasks and the plan of the experiment were developed, the necessary initial data were prepared. As a result of the experimental calculation, theoretical predictions were confirmed for the possibilities of assembling the pipeline routes at the design stage and the conceptual basis for compensating for total deviations by moving the routes, contributing to a reduction in the construction time of facilities outfitted with pipelines.

**Keywords:** Compensation area, manufacturing, design, installation, piping, tracing, downhole pipe, fitting pipe, deflection, straight pipe.

#### Введение

По результатам исследований в [1-3] было показано, что на основе формы трубы и с использованием свободно вращающихся соединений, мы можем компенсировать фактическое отклонение в процессе монтажа трасс трубопроводов. Однако, эти выводы основывались только на построении математической модели, а также моделировании геометрии. Для того, чтобы проверить теоретическую основу, мы должны проводить исследования в ходе реального

эксперимента. А также из исследований эксперимента, мы получим новые знания для уточнения процесса компенсации отклонений трасс судовых трубопроводов в условиях установки соединений во взаимное теоретическое положение с допускаемым перекосом [4-9].

Целью экспериментальных исследований является проверка возможностей сборки труб и подтверждение разработанных математических соотношений. Если большинство областей отклонений, которые получились на самом деле,



меньше или равно области компенсации, рассчитанной для трасс труб, то теоретические основы, которые мы разработали, согласуются с практикой (рис. 1.а). А если наоборот большинство областей отклонений находится с наружи (больше) вычисленной области компенсации (рис. 1.б) - это означает, что предлагаемый метод не представляется возможным, необходимо пересмотреть теоретические основы и в сочетании с другими методами компенсации отклонений.

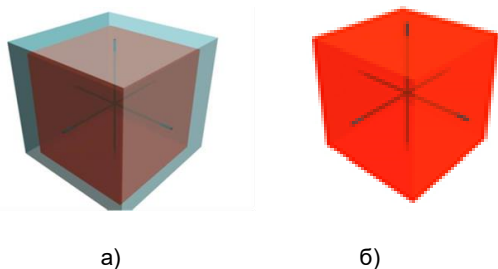


Рис. 1. Сравнение области отклонений с областью компенсации  
 а - Полная компенсация области отклонений; б - Поглощение области компенсации областью отклонений

**1. Материалы и методы**

Экспериментальные исследования проводились на ведущих судостроительных предприятиях Вьетнама. Основные этапы экспериментальных

исследований проводились на реальных трубопроводах судовых систем буксира «Azimuth Rotor Tug 85-32W» (проекта № YN-512546) (рис. 2) в процессе их производства на верфи «ЛИЛАМА 69-2 Shipyard» и «Damen Song Cam shipyard» во Вьетнаме. Данные по компенсации отклонений трасс трубопроводов с использованием прямых труб представлены в табл. 4.

Показательными являются результаты эксперимента при изготовлении и монтаже труб; рассмотрен ряд трасс, ограниченных жёстко фиксированными соединениями изделий насыщения и ответвлений: приварными стаканами и отрезками.



Рис. 2. Буксир «Azimuth Rotor Tug 85-32W»

Основные характеристики судна указаны в табл. 1  
 Таблица 1

**Основные характеристики судна**

Длина по КВЛ, м	31,5
Ширина, м	13,7
Высота борта, м	4,8
Осадка по КВЛ, м	4,5
Дедвейт, т	500
Скорость, уз	12,5
Мощность главного двигателя, кВт	3 x Caterpillar 3512СТА (5400bkW/18800rpm)

Основные этапы экспериментальных исследований:

- выбор трассы трубопровода между двумя жёстко фиксированными соединениями по чертежу и на судне;
- определение расчётной области компенсации и, при необходимости, пригоняемого участка с припуском на основе теоретических положений в рамках гипотезы о взаимосвязи конфигурации и компенсационных возможностей проектной трассировки трубопроводов;
- определение фактических отклонений собранной трассы;
- сравнение фактических отклонений и расчётной компенсации;

- корректировка чертежей посредством изменения размеров пригоняемых участков припусками.

**2. Результаты и обсуждение**

На основании разработанных теоретических положений [1-3] составлена методика расчётов. В качестве примера расчётов приведена трасса 102-321L00107, находится в судовой топливной системе трубопроводов (см. ниже).

Примерная трасса:

На основании разработанных теоретических положений составлена методика расчетов области компенсации трасс трубопроводов. В качестве примера приведен расчет трассы 102-321L00107 в судовой топливной системе трубопроводов 321 (рис. 3):

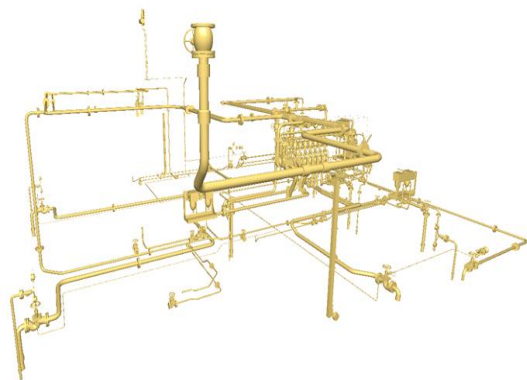


Рис. 3. Судовая топливная система трубопроводов 321

Проведён анализ трассы труб 102-321L00107 (рис. 4):

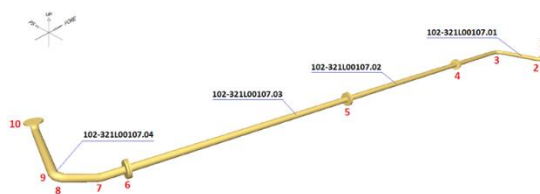


Рис. 4. Расчетная трасса 102-321L00107

Координатные размеры расчетной трассы, состоящей из четыре труб, показаны в табл. 2:

Таблица 2

Координаты точек расчетной трассы

Номер точек	X(FORE)	Y(PS)	Z(UP)
1	0	0	0
2	-184	0	0
3	-184	805	0
4	-1397	805	0
5	-4000	805	0
6	-6753	805	0
7	-6947	805	0
8	-7240	805	125
9	-7240	2000	125
10	-7240	2000	105

Номера точек свободных соединений: 1, 4, 5, 6, 10. Точка 10 расположена на конце последней трубы, поэтому она не задействована при установке и вращении труб трассы. Окончательно определяем номера точек свободного соединения:  $s = \{1, 4, 5, 6\}$ .

Далее необходимо провести анализ конфигурации труб расчетной трассы. Трасса 102-321L00107 состоит из двух прямых труб Ду70 (названия 102-321L00107.02 и 102-321L00107.03) и двух изогнутых труб Ду70 (названия 102-321L00107.01 и 102-321L00107.04). Обнаруживаем, что когда устанавливаем изогнутую трубу с перекосом в начальной её точке, то траектория конечной точки той трубы все равно всегда движется

по постоянному сегменту и не зависит от конкретной формы изогнутой трубы. Поэтому при расчете компенсации, нас просто интересует расстояние между двумя точками, начальной и конечной точки трубы, которого достаточно.

На основании математического описания [1-3] определяем расчетные параметры окружностей, полученных вращением труб с допускаемыми перекосами (табл. 3). Вращение этих участков в свободных соединениях на определенный угол поворота образует дуги, необходимые для построения области компенсации (рис. 6).

Таблица 3

Параметры векторов труб расчетной трассы

№ п/п	Труба	Координаты векторы	Расстояние $r_i$ , мм	Ду, мм
1	1-4	(-1397,805,0)	1612	70
2	4-5	(-2603,0,0)	2603	70
3	5-6	(-2753,0,0)	2753	70
4	6-10	(487,1195,105)	1295	70

Уравнение (1) определяет траекторию перемещения последней точки трассы А. Эта траектория представляет собой в виде:

$$\begin{cases} x = r_1 \cdot \cos\theta_1 + r_2 \cdot \cos\theta_2 + r_3 \cdot \cos\theta_3 + r_4 \cdot \cos\theta_4 - x_6 \\ y = r_1 \cdot \sin\theta_1 \cdot \cos\varphi_1 + r_2 \cdot \sin\theta_2 \cdot \cos\varphi_2 + r_3 \cdot \sin\theta_3 \cdot \cos\varphi_3 + r_4 \cdot \sin\theta_4 \cdot \cos\varphi_4 \\ z = r_1 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\varphi_1 + r_2 \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\varphi_2 + r_3 \cdot \sin\theta_3 \cdot \sin\varphi_3 + r_4 \cdot \sin\theta_4 \cdot \sin\varphi_4 \end{cases} \quad (1)$$

Или:

$$\begin{cases} x = 1612 \cdot \cos\theta_1 + 2603 \cdot \cos\theta_2 + 2753 \cdot \cos\theta_3 - 6753 \\ y = 1612 \cdot \sin\theta_1 \cdot \cos\varphi_1 + 2603 \cdot \sin\theta_2 \cdot \cos\varphi_2 + 2753 \cdot \sin\theta_3 \cdot \cos\varphi_3 \\ z = 1612 \cdot \sin\theta_1 \cdot \sin\varphi_1 + 2603 \cdot \sin\theta_2 \cdot \sin\varphi_2 + 2753 \cdot \sin\theta_3 \cdot \sin\varphi_3 \end{cases}$$

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$ : угол перекоса  $[0, \alpha]$ ,  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ : угол поворота  $[0, 2\pi]$

В результате расчета определяем координаты области компенсации (в мм):

$$x \in (0; 241) \text{ мм}$$

$$y \in (0; 121) \text{ мм}$$

$$z \in (0; 121) \text{ мм}$$

Область компенсации принимается вид:

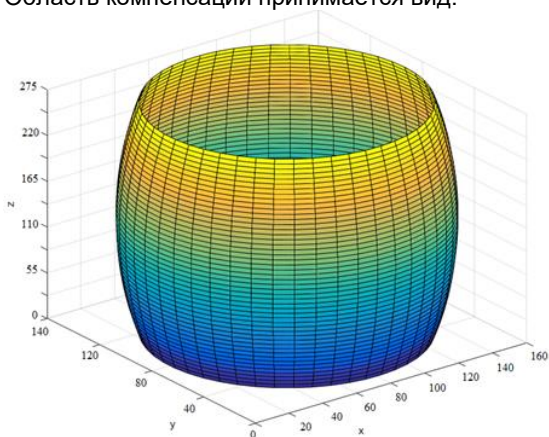


Рис. 5. Область компенсации

Определенная область компенсации показывается траекторией последней точки трассы трубопроводов (рис. 5). Границы компенсации - это наибольшая величина, на которую мы можем переместить точку 10, чтобы компенсировать отклонение трассы. Необходимо обеспечить, чтобы направление оси конечного участка труб 6 - 10 совпадало с направлением оси, перпендикулярной плоскости фиксированного соединения (оборудования, арматуры...). Чтобы это обеспечить для трассы 102-321L00107 назначим  $\theta_4 = 0$ , т. е.  $z_4 = 0$ .

Далее, в процессе эксперимента, мы будем измерять фактические отклонения при монтаже трубопровода по месту (рис 6). Это именно те величины, которые мы должны компенсировать, чтобы соединить трассу с другими трассами или другими оборудованием... Чтобы знать, можно ли применить предлагаемый способ для компенсации этих отклонений, нам надо сравнить значения

области фактических отклонений со значениями полученной расчётной области компенсации.

Конкретно в этом случае, мы измерили отклонение фактическое:  $\Delta x = 52 \text{ мм}$ ,  $\Delta y = 64 \text{ мм}$ ,  $\Delta z = 31 \text{ мм}$ . Сравниваем со значением области компенсации и видим, что величины отклонений меньше величин области компенсации.



Рис. 6. Проведение измерения фактических отклонений по месту

Таким образом, предлагаемым способом мы можем компенсировать полностью фактические отклонения. В качестве способа компенсации выбрана компенсация парой прямых труб Ду70: 102-321L00107.02 и 102-321L00107.03. Допускаемое смещение при длине указанных труб 2753 мм – 54 мм. Трубы собраны со смещением фланцев 40 мм. В процессе монтажа трубопровода все отклонения смещения приварных стаканов компенсированы.

После анализа и определения значения припусков необходимо скорректировать чертежи трасс трубопроводов с указанием значения и направления этих припусков, а также участков труб, на которых следует назначить припуски. Таким образом, трубы могут изготавливаться по чертежам, не требуется снимать размеры по месту.

Рассмотрено 88 трасс, ограниченных жёсткими соединениями. Чертёж разделён на 88 участков, имеющих изометрические чертежи с указанием координат точек перегиба и расположения соединений. Данные по компенсации отклонений трасс трубопроводов путём установки соединений во взаимное теоретическое положение с допускаемым перекосом представлены в табл. 4:

Таблица 4

Фрагмент результатов эксперимента

Обозначение трассы	Теоретические координаты конца трассы, мм		Фактические отклонения, мм	Количество соединений	Расчетная компенсация, ± мм	Припуск
1-1-351L00120	X	129	11	3	78	
	Y	320	-25		67	
	Z	868	32		78	
2-2-310L00127	X	-585	-37	3	21	29
	Y	1777	19		0	50
	Z	-345	-32		113	
3-1-351L00130	X	-310	-20	4	239	
	Y	888	17		93	
	Z	-4571	-32		8	42
4-2-310L00128	X	946	26	4	35	-
	Y	2640	21		11	-
	Z	1769	25		9	-

По результатам теоретических расчётов трасс, в зависимости от их возможностей сборки можно классифицировать 88 трасс на 4 групп (см. рис. 7):

1) 19 трасс имеют возможность полной компенсации отклонений в трёх координатных направлениях, что составляет 22% от общего количества трасс трубопроводов. Все трубы этих трасс могут быть изготовлены по проектным размерам и не требуется припуск (трасса 1).

2) 39 трассы имеют возможность компенсации отклонений в двух направлениях и необходимо назначить припуск в оставшемся направлении для полной компенсации отклонений, что составляет 44% от общего количества трасс трубопроводов (трасса 3).

3) 17 трасс имеют возможность компенсации отклонений только в одном направлении и необходимо назначить припуски в остальных двух направлениях для полной компенсации отклонений, что составляет 19% от общего количества трасс трубопроводов (трасса 2).

4) 13 трасса не имеет возможность компенсации отклонений, что составляет 15% от общего количества трасс трубопроводов. Для этих трасс требуется корректировка трасс (трасса 4).

Результаты проведённых комплексных исследований являются основой для разработки соответствующей методические базы, её широкомасштабного применения в процессе производства судовых трубопроводов.

**Заключение**

В результате экспериментальных исследований возможностей сборки прямых трасс установлено следующее:

1. Подтверждены теоретические прогнозы возможностей сборки трасс трубопроводов на этапе проектирования;

2. Разработан порядок компенсации отклонений трасс трубопроводов с использованием прямых участков с соединениями труб и дополнительными припусками;

3. Созданы предпосылки для разработки соответствующей методики повышения технологичности трубопроводов на стадии проектирования.

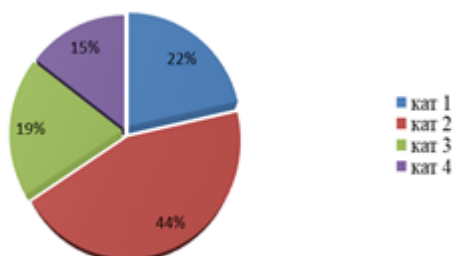


Рис. 7. Классификация трасс трубопроводов по возможности сборки

## Литература

1. Сахно К. Н. Научные основы повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования: дис. ... д-ра техн. наук; специальность: 05.08.04 – технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства/ К. Н. Сахно. Астрахань: АГТУ, 2012. – 353 с.
2. Сахно К. Н. Исследование возможностей создания обобщенного метода использования параллельных участков и прямых труб для компенсации отклонений судовых трубопроводных трасс / К.Н. Сахно, Т. М. До, Ч. К. Во // Международный научный журнал: Молодой учёный. - Казань, 2016. - № 6. - С. 181-184.
3. Дженкова Р. В. Анализ экономической эффективности новых технологий при изготовлении труб судовых систем / Р.В. Дженкова, Т. М. До, К.Н. Сахно // Инженерный вестник Дона. – Ростов на Дону: Изд-во «Северо-Кавказский научный центр высшей школы Южного федерального университета», 2016. – № 1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3535>.
4. Safa M. Automating measurement process to improve quality management for piping fabrication/ M. Safa, A. Shahi, M. Nahangi, C. Haas, H. Noori // Structures. — 2015. —Vol. 3. — Pp. 71–80. DOI: 10.1016/j.istruc.2015.03.003.
5. Haiteng S. Pipe-assembly approach for ships using modified NSGA-II algorithm/ S. Haiteng, N. Wentie, N. Yaxiao, Z. Chongkai, G. Weigao // Computer Aided Drafting, Design and Manufacturing. — 2016. —Vol. 26 (2). — Pp. 34–42.
6. Dang V. T. Giao trinh tho ong tau thuy / V. T. Dang. - Hai Phong: Dai Hoc Hang Hai Viet Nam, 2005. – 45 p.
7. ОСТ 5.95057-90. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов. Л.: НПО «Ритм».
8. Park J. H. Pipe-routing algorithm development: case study of a ship engine room design/ J. H. Park, R. L. Storch // Expert Systems with Application. — 2002. —Vol. 23. — Pp. 299–309.
9. Jiang W. Y. A co-evolutionary improved multi-ant colony optimization for ship multiple and branch pipe route design/ W. Y. Jiang, Y. Lin, M. Chen, Y. Y. Yu // Ocean Engineering. — 2015. —Vol. 102. — Pp. 63–70. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.04.028.

## References

1. Sakhno, K.N. Nauchnye osnovy povysheniya tekhnologichnosti truboprovodov sudovykh sistem na stadii proektirovaniya: Dr. diss. Astrakhan': AGTU, 2012.
2. Sakhno, K.N., T.M. Do, and Ch.K. Vo. "Issledovanie vozmozhnostei sozdaniya obobshchennogo metoda ispol'zovaniya parallel'nykh uchastkov i pryamykh trub dlya kompensatsii otklonenii sudovykh truboprovodnykh trass." *Molodoi uchenyi* 6(110) (2016): 181–184.
3. Dzhenkova, R.V., T.M. Do, and K.N. Sakhno. "Cost-effectiveness analysis of new technologies in the production of ship piping systems." *Engineering journal of Don* 40.1(40) (2016): 26.
4. Safa M. Automating measurement process to improve quality management for piping fabrication/ M. Safa, A. Shahi, M. Nahangi, C. Haas, H. Noori // Structures. — 2015. —Vol. 3. — Pp. 71–80. DOI: 10.1016/j.istruc.2015.03.003.
5. Haiteng S. Pipe-assembly approach for ships using modified NSGA-II algorithm/ S. Haiteng, N. Wentie, N. Yaxiao, Z. Chongkai, G. Weigao // Computer Aided Drafting, Design and Manufacturing. — 2016. —Vol. 26 (2). — Pp. 34–42.
6. Dang, V.T. *Giao trinh tho ong tau thuy*. Hai Phong: Dai Hoc Hang Hai Viet Nam, 2005.
7. Russian Federation. OST 5.95057-90. Sistemy sudovyye i sistemy sudovykh energeticheskikh usta-novok. Tipovoy tekhnologicheskii protsess izgotovleniya i montazha truboprovodov. RTP NPO «Ritm».
8. Park J. H. Pipe-routing algorithm development: case study of a ship engine room design/ J. H. Park, R. L. Storch // Expert Systems with Application. — 2002. —Vol. 23. — Pp. 299–309.
9. Jiang W. Y. A co-evolutionary improved multi-ant colony optimization for ship multiple and branch pipe route design/ W. Y. Jiang, Y. Lin, M. Chen, Y. Y. Yu // Ocean Engineering. — 2015. —Vol. 102. — Pp. 63–70. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.04.028.

УДК [620.17/.179.1:621.791.05]: 629.5.023: 629.5.017

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СВАРНОГО ШВА КОРПУСА СУДНА С ДЕФЕКТАМИ НЕТРЕЩИНОПОДОБНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ

**Линь Зюи Нгуен**

аспирант кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: phoenix\_472@mail.ru

**Евгений Дмитриевич Кожухарь**

аспирант кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: ezhik2811@mail.ru

**Анатолий Рашидович Рубан**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Расул Вагидович Гусейнов**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Организация и безопасность движения»  
Дагестанский государственный технический университет  
367015, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70А  
e-mail: imtet@astu.org

**Ибрагим Мусаевич Абачараев**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: imtet@astu.org

### Аннотация

В процессе постройки любого стального сварного корпуса судна могут образовываться внутренние дефекты в сварных швах. Если количество и размеры дефектов сварных швов превышают допустимые нормативные значения, то такие швы ремонтируют.

В данной работе рассматриваются причины увеличения трудоемкости и сроков постройки сварных корпусов судов при выполнении требований Правил Российского Морского Регистра Судоходства в части допускаемого количества дефектов нетрещеноподобного типа, выявленных радиографическим методом контроля сварных соединений. В данной статье выполнен анализ научных работ, посвященных причинам выхода из строя корпусов судов, где одним из дефектов являются технологические дефекты сварки. Это позволило сформулировать требования к расчетной модели сварного шва с дефектом нетрещеноподобного типа при определении срока безаварийной эксплуатации и остаточный запас прочности сварных швов корпуса судна и определить последовательность его реализации на основе элементов теории упругости и разрушения.

**Ключевые слова:** сварной корпус судна, сварочные внутренние дефекты, виды нагрузок, Правила Российского Морского Регистра Судоходства, качество сварных соединений.

## DETERMINATION OF A WELD STRENGTH OF A SHIP'S HULL WITH NON-CRACK-LIKE DEFECTS BASED ON ELEMENTS OF THE ELASTICITY AND FRACTURE THEORY

**Lin Zuy Nguyen**

Postgraduate Student, Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: phoenix\_472@mail.ru

**Evgeny D. Kozhukhar**

Postgraduate Student, Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: ezhik2811@mail.ru

**Anatoly R. Ruban**

PhD in Engineering Science, Associate Professor

Head of the Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Rasul V. Guseynov**

Dr.Sci.Tech, Professor, Professor of the Department of "Organization and Traffic Safety"  
Dagestan State Technical University  
367015, Republic of Dagestan, Makhachkala, pr. Imam Shamil, 70A  
e-mail: imtet@astu.org

**Ibrahim M. Abacharaev**

Dr.Sci.Tech, Professor  
Professor, Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: imtet@astu.org

### Abstract

In the process of building any steel welded hull of the vessel, internal defects in welds can form. If the number and size of defects in welds exceed the permissible standard values, then these welds are to be repaired.

This paper examines the increase in labor intensity and the construction time of welded hulls of ships, while fulfilling the requirements of the Russian Maritime Register of Shipping Rules in terms of the allowed number of non-crack-like defects, identified by a radiographic method of control of welded joints. This article analyzes the scientific work related to the reasons for the failure of ship hulls, where one of the defects was welding technological defect. This analysis made possible to:

- formulate the requirements for the computational model of a weld with a non-crack-like defect in determining the period of trouble-free operation and the residual safety margin of ship hull welds;
- determine the sequence of the computational model implementation based on the elements of the theory of elasticity and fracture.

**Keywords:** welded hull of a vessel, internal welding defects, types of loads, Rules of the Russian Maritime Register of Shipping, quality of welded joints.

### Введение

В настоящее время основные типы судов водоизмещением до 200 тыс. тонн и выше строятся на основе сварных стальных корпусов. В процессе постройки любого стального сварного корпуса судна могут образовываться внутренние дефекты в сварных швах. Если количество и размеры дефектов сварных швов превышают допустимые нормативные значения, то такие швы ремонтируют. При сборке сварных корпусов на открытых монтажных площадках, ремонт внутренних дефектов сварных швов может составлять от 15 до 25 %, а в условиях сборки металлоконструкции на закрытых производственных площадках от 3 до 5% общего объема сварных швов [5]. Ремонт сварных швов с внутренними нетрещиноподобными дефектами увеличивает трудоемкость и сроки постройки, а также ремонта судов.

#### 1. Постановка задачи исследования

Способность конструкций судна сопротивляться усталостным разрушениям (трещинам) от переменных нагрузок и разрушениям от экстремальных нагрузок (разрывам, пластическим деформациям и потерям устойчивости связей с нарушением их формы) является комплексным понятием, определяющим прочность всего сварного корпуса [4]. В соответствии с Правилами Российского Морского Регистра Судоходства (РМРС) в части 14 «Сварка» [7] устанавливаются нормативные требования к корпусу судна, исходя из двух основных критериев:

усталостной и предельной прочности сварного соединения.

В результате эксплуатации на сварной корпус судна, который имеет наружную обшивку, верхнюю и нижнюю палубы, продольные и поперечные перегородки, выполненные из листовых элементов и соединенные герметичными сварными швами [1, 2], действуют статические, динамические и циклические нагрузки. При длительном действии на сварной корпус судна постоянных и переменных нагрузок, происходит постепенное накопление повреждений - износ, которые могут приводить к усталостному разрушению или потери несущей способности сварного шва. Это связано с тем, что на прочность сварного шва оказывают влияние внутренние сварочные дефекты, которые могут существенно снижать прочностные характеристики сварной конструкции, так как являются концентраторами напряжений.

Дефекты сварных швов, по степени создаваемой ими концентрации напряжений, делятся на дефекты трещиноподобного типа (ДТТ) и нетрещиноподобного типа (ДНТ). Дефекты трещиноподобного типа, по правилам РМРС, в сварных швах не допускаются, а ДНТ жестко нормируются по принятым уровням качества. ДНТ обладают ярко выраженными признаками геометрического несовершенства по отношению к форме и размерам ДТТ.

Анализ исследований [9, 10, 11] позволяет сделать вывод, что ДНТ сварочных швов (газовые и твердые неметаллические включения и др.) совершенно по-разному влияют на прочностные (технологические) и эксплуатационные свойства

корпусной конструкции и ее сварных соединений при различных видах нагружения. Анализ методов проектирования корпусов судов (расчетный и по правилам классификационных обществ) [4, 6, 7], а также принципов оценки усталостной прочности сварного корпуса судна [3] и результатов исследований полей деформаций, эксплуатируемых судовых корпусов [8] позволяет сделать вывод о том, что используемые РМРС нормы дефективности сварных швов корпуса судна для ДНТ, отражают только технологический уровень качества, а не эксплуатационный.

Прочностные (технологические) и эксплуатационные характеристики сварных соединений стального корпуса и механизм разрушения при наличии разнообразных внутренних дефектов и специфического набора нагрузок можно разделить по характеру развития разрушения и последствиям, оказывающим влияния на прочность всего корпуса судна. В соответствии с требованиями Правил РМРС [7] оценка качества (надежности) сварных соединений корпуса судна базируется на ИСО 5817 [18] и подразделяется на 3 уровня дефективности, а классификация дефектов осуществляется в соответствии с ИСО 6520-1. Критерии допустимости каждого из дефектов определяются в зависимости от присвоенного сварной металлоконструкции уровня качества по ИСО 5817 [18] и выбранного метода неразрушающего контроля, который осуществляется в соответствии с ИСО 17635.

## 2. Описание схемы формирования уровня надежности сварного шва

На рисунке 1 рассмотрена общая схема формирования уровня качества (надежности) сварного соединения, где на графике вдоль оси «Н» указывается изменение уровня качества сварного шва в течение времени «t». Этот процесс целесообразно рассматривать как серию условных потерь качества свариваемого металла за счет изменения его свойств. Значения потерь технологического ( $\Delta_m$ ) и производственно-технологического ( $\Delta_{pm}$ ) качества могут быть определены в единицах показателя работоспособности по результатам соответствующих разрушающих испытаний [17].

В соответствии с ИСО 6520-1 выделяют шесть групп внутренних и внешних дефектов (ДТТ и ДНТ), которые оказывают влияние на производственный уровень качества сварного соединения. Степень влияния дефектов на качество сварного шва определяют при помощи методов неразрушающих контроля. Выявление и классификация внутренних ДНТ, которые могут встречаться в сварных швах в виде объемных (трехмерных) внутренних несплошностей типа пор, шлаков, металлических включений и непроваров в корне шва, рекомендуется проводить при помощи радиографического метода контроля (РМК) [7]. Согласно нормативным требованиям ИСО 10675-1, ГОСТ Р ИСО 5817 для оценки качества сварных соединений металлоконструкций 1, 2 и 3 уровня качества используют такие критерии как суммарная

площадь проекции внутреннего дефекта, отнесенная к площади снимка, суммарная длина проекций внутренних дефектов на длине шва и т.п. Это связано с тем, что внутренние дефекты сварного шва отличаются по форме и виду; размеру и расположению относительно друг друга; взаимному расположению и относительным размерам сварного соединения в конструкции шва.

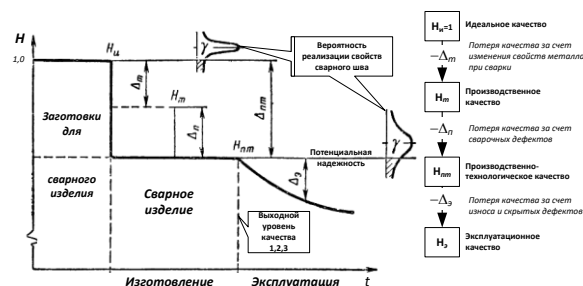


Рис. 1. Общая схема формирования уровней качества для сварных соединений

Анализ требований РМРС [7] для РМК в части оценки типа и размера внутренних дефектов в наружной обшивке стального корпуса для уровней качества 1, 2 и 3 показал, что она имеет нелинейный вид и позволяет найти зависимость между шириной шва ( $W_p$ ) и допустимым количеством отдельных пор, равномерным распределением пористостей, а также скоплением пор (рис. 2).

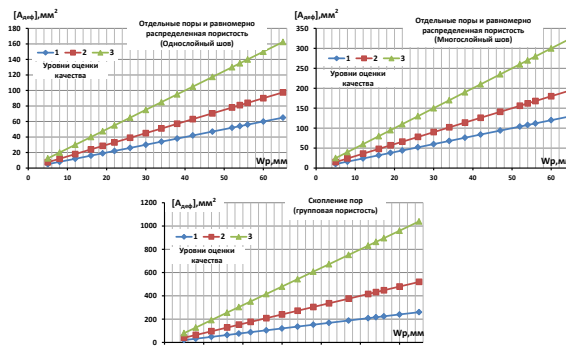


Рис. 2. График изменения уровня качества сварного шва тип С17 в зависимости от ширины шва ( $W_p$ ) и допустимой площади дефектов [ $A_{деф}$ ]

## 3. Влияние внутренних нетрещиноподобных дефектов на прочность сварного шва

В соответствии с результатами исследования [17], при статистических нагрузках для металла сварного шва, обладающего пластичностью, потеря его прочности примерно пропорциональна общей площади -  $\sum A_{деф}$  внутренних дефектов или непроваров (рис. 3 – область «Статика»). Следует отметить, что авторами исследования приводятся данные по незначительному изменению несущей способности стыковых сварных соединений (особенно с усилением сварного шва) при  $\sum A_{деф} \leq 5 \div 10\%$ , а иногда до  $20 \div 30\%$  от площади плана шва  $W_p \times L$ , где L - любые (с наибольшей плотностью дефектов) 100 мм длины шва).

Сравнительно небольшие дефекты при воздействии на сварной шов динамической или



вибрационной нагрузок, оказывают существенное влияние на прочность (рис. 3 – область «Усталость»). Это приводит к тому, что нарушается функциональная связь в виде линейной пропорциональностью между потерей работоспособности и размерами дефекта [17].

На рисунке 3 приводится результат использования РМК для выявления внутренних дефектов сварного стыкового шва и общий расчетный уровень дефективности  $g=5\%$ , который позволяет по графику (точки А, Б – область «Статика» и В, Г – область «Усталость») определить диапазоны возможного разрушения сварного шва от действия статических и динамических нагрузок при заданном уровне дефективности. Выявленные дефекты – одиночные поры ( $d_{max}=0.4...0.4x2\leq 4$  мм,  $g\approx 0.15\%$ ), скопление пор ( $d_{max}=1...1.5\leq 15$  мм,  $n=4...15$ ,  $g\approx 2.48\%$ ), которые снижают прочность и плотность [17] по отдельности не превышают допускаемых значений для 1-3 уровня качества сварного шва за исключением скопления шлаковых включений, которые являются концентраторами напряжений и снижают прочность соединения [17] ( $lxb=4x0,6$  мм,  $n=11$ ,  $g\approx 2.37\%$  – для уровня 1 –  $l\leq 3$  мм, для уровня 2 –  $l\leq 4$  мм) – уровень качества 2-3. Указанные внутренние дефекты сварного шва являются технологическими и приводят к потере производственного качества ( $\Delta_n$ ) сварной металлоконструкции.

Прогнозируемая прочность сварного соединения на рисунке 3 с учетом общего показателя дефективности сварного шва при статических нагрузках составит  $\sigma_{в.св} = (0,93 \dots 0,96) \sigma_{в.м.}$ , а при динамических нагрузках  $\sigma_{в.св} = (0,51 \dots 0,59) \sigma_{в.м.}$ . Из трех типов дефектов по нормам РМРС ремонту подлежит только скопление шлаковых включений ( $g\approx 2.37\%$ ), что уменьшит общую дефектность до  $g=2,63\%$  (точки А<sub>1</sub>, Б<sub>1</sub>, В<sub>1</sub>, Г<sub>1</sub>) и обеспечит требуемые технологические качества сварного соединения.

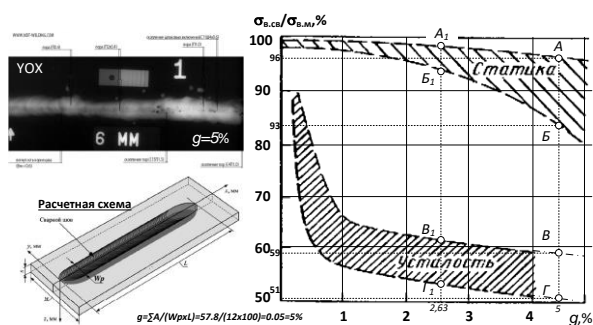


Рис. 3. Характер влияния суммарной относительной площади внутренних дефектов -  $g = \sum A / W_p \times L, \%$  на прочность сварных стыковых швов -  $\sigma_{в.св}$  по отношению к прочности основного металла -  $\sigma_{в.м}$  [17]

Снижение дефектности сварного шва за счет ремонта внутренних дефектов приводит к ситуации, когда в сварном шве практически отсутствуют или имеются определенного типа технологические дефекты, уровень которых не превышает значений,

указанных в нормативных документах. Это позволяет обеспечить заданный уровень качества, но не гарантирует, что в процессе расчетной эксплуатации сварного корпуса судна не образуются ДТТ [8] (рис. 4, зона корпуса судна D) из имеющихся в сварном шве технологических ДНТ.

Исходя из этого можно сделать вывод, что при расчете прочности сварного шва с внутренними технологическими ДНТ необходимо учитывать вероятность его развития в ДТТ эксплуатационного характера.

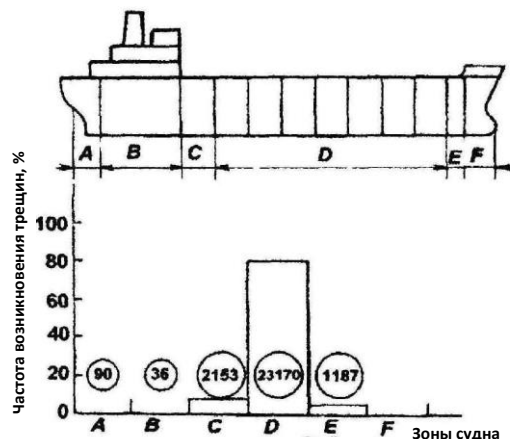


Рис. 4. Распределение дефектов сварных швов в процентах от общего числа по основным зонам судна [8]

#### 4. Обоснование норм допустимости дефектов нетрещиноподобного типа в сварном шве

Рассмотренный выше принцип образования уровней качества и нормативные требования к технологическим дефектам, используемые для оценки качества сварных соединений (надежности) стальных корпусов судов содержащих ДНТ содержит достаточно жесткие ограничения, что позволяет поставить вопрос о целесообразности ремонта (переделки) таких сварочных швов, так как некоторые корпусные конструкции работают в недостаточно жестких условиях [10]. Этот вывод подтверждает анализ причин разрушения стальных корпусов судов проведенных авторами [14, 15], где рассматривались суда, работающие в самых различных условиях. Основными причинами разрушения сварных соединений называется коррозионный износ, остаточные деформации, развитие трещин, которые начинаются от дефектов, возникающих в сварном соединении или в основном металле [13].

Для обоснования целесообразности ремонта внутренних сварных швов требуется обосновать изменения норм допустимости дефектов на основе расчетных или экспериментальных методов оценки прочности сварных соединений. Если использовать только расчетные методы, то все выявленные радиографическим методом ДНТ разделим на два типа: неопасные и опасные дефекты. Это позволит заменить любой неопасный ДНТ его эквивалентом условно опасного дефекта. В нашем случае самым опасным эквивалентом будем считать ДТТ - трещина. Такая замена сокращает количество

требуемой информации о геометрических размерах повреждения: достаточно узнать площадь его проекции на плоскость размещения предполагаемой трещины. В этом случае расчет влияния ДНТ на прочность сварного шва обычно проводится с использованием различных модификаций закона Нейбера [12], дающего значения пластических коэффициентов для деформации и напряжений в зоне ДНТ. Для расчета коэффициентов концентрации напряжений от ДНТ необходимо решить задачу прочности в упругой постановке, что требует использовать кривую деформирования металла сварного шва. Перечисленные выше данные достаточны для выполнения расчета ресурса сварного корпуса судна. Тем не менее, вопросы взаимосвязи между прочностью сварного шва и внутренними дефектами в свариваемых деталях корпусов судов сроком их службы недостаточно изучено, что требует проведение экспериментальных исследований и разработку математического аппарата позволяющего рассчитать сроки безаварийной эксплуатации и остаточный запас прочности сварных швов корпуса судна.

На рисунке 5 представлен пример общей схемы для обоснования норм допустимости ДНТ на основе метода концентрации напряжений, которая позволяет сформировать технологические требования с учетом вероятности потери работоспособности шва.

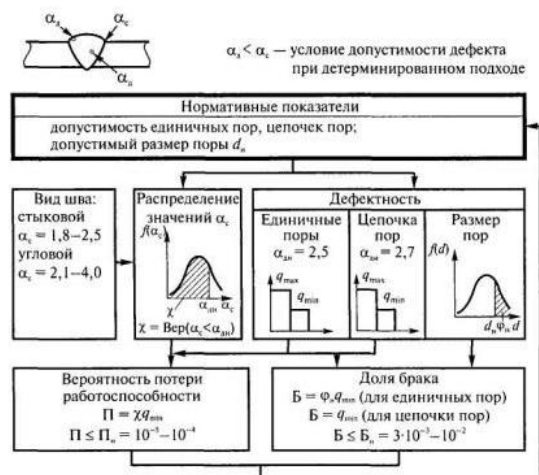


Рис. 5. Схема обоснования норм допустимости ДНТ (типа пор) на основе метода концентрации напряжений [16]

При использовании методов моделирования все выявленные при помощи РМК геометрические параметры несплошностей внутри сварного шва схематизируются круглыми или эллиптическими отверстиями (частный случай решения задачи Кирша), максимально аппроксимирующих их площадь и переносятся в модель сварного шва, построенную на основе программного продукта FEMAP для расчета методом конечных элементов

напряжений от действия статических и динамических сил при одноосной схемы нагружения.

Для моделирования упругопластических свойств материала используется кривая деформации металла и сварного шва.

**Выводы**

Анализ нормативных и научных источников посвященных проблемам обеспечения безопасной эксплуатации сварных корпусов судна позволил сделать следующие выводы:

1. Процесс изготовления сварных корпусов судов регламентирован нормами качества, изложенных в РМРС, где установлены критерии качества сварных швов в отношении допустимого количества внутренних дефектов. Сварочные дефекты являются неотъемлемой частью процесса изготовления сварочных швов, что может приводить к увеличению стоимости изготовления корпусов судна за счет проведения ремонтных работ. Установленные правилами РМРС нормы носят технологический характер и являются достаточно жесткими по отношению к условиям эксплуатации корпусов судов.

2. Авторами работ [9, 10, 11] были получены экспериментальные данные, доказывающие, что при наличии ДНТ в сечении шва с отношением площади дефекта к площади сечения образца менее 35 %, ДНТ не оказывал серьезного влияния на механические свойства судостроительной стали при статическом нагружении. Свойства судостроительной стали, определяемые при динамическом нагружении (отношение площади дефекта к площади образца менее 30%), не снижаются от ДНТ сварки (поры, непровары и шлаковые включения), как и свойства, определяемые при статическом нагружении. Это позволяет сделать вывод о возможном снижении уровня требований к качеству сварных швов корпусов судов при выявлении в них ДНТ.

3. Анализ нагружения и видов разрушения сварных корпусов судов позволил предложить два расчетных подхода к определению прочности сварных швов с ДНТ. В первом случае рассматривается математический аппарат для решения задачи прочности и определения ресурса, а во втором используется метод конечных элементов и теории разрушения - поведение полей напряжений в окрестности концентраторов дефектов и неоднородностей среды, полостей и включений для решения задачи Кирша (аппроксимация ДНТ кругом или эллипсом). Это позволит разработать математический аппарат для расчета и уточнения критериев качества сварных швов корпусов судна с ДНТ.

4. При расчете прочности сварного шва с внутренними технологическими ДНТ необходимо учитывать вероятность его развития в ДТТ эксплуатационного характера.

**Литература**

1. Овчинников, В.В. Производство сварных конструкций: учебник для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы среднего профессионального образования / В. В. Овчинников. - Москва: Форум, Москва: ИНФРА-М. - 2017. - 287 с.

2. Овчинников, В.В. Технология изготовления сварных конструкций: Учебник / В.В.Овчинников - М.: ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА-М. - 2015. - 208 с.
3. Коростылёв, Л.И. Анализ и классификация методов оценки усталостной прочности сварных тонкостенных конструкций корпуса судна / Л.И. Коростылёв, Д.Ю. Литвиненко. - Вестник ГУМиРФ им. Адм. С.О. Макарова. – 2016. - 3(37). – с. 104-118 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26202440>
4. Бурменский А.Д Чижимов С.Д Проектирование конструкций корпуса судна: Учебное пособие / Чижимов С.Д., Бурменский А.Д. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ». - 2006. - 117 с.
5. Демичев С.Ф. Технология и оборудование сварочного производства. Учебное пособие /С.Ф. Демичев, А.В. Рясный, А.Л. Усольцев. — Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2010. — 78 с.
6. Российский морской Регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Корпус. - СПб.: ФАУ «РМРС». - 2018. - Т.2. - 205 с.
7. Российский морской Регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Сварка. - СПб.: ФАУ «РМРС». - 2018. - Т.14. - 105 с.
8. Королев В.В. Исследование полей деформаций судовых корпусов / В. В. Королев, Н. Е. Жадобин // Эксплуатация морского транспорта. – 2008. - №3(53). – С. 73-75.
9. Нгуен, Н. Методика и результаты оценки влияния дефектов сварки на механические свойства судостроительной стали / Н. Нгуен, З.Л. Нгуен, А.Р. Рубан. - Научная дискуссия: вопросы технических наук. – 2015. – №9-10 (28). – С. 44-50.
10. Нгуен, Н. Влияние дефектов сварных швов на механические свойства корпусной стали, определяемые при динамическом нагружении / Н. Нгуен, А.Р. Рубан. - Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2015. – №4 (32). – С. 126-130.
11. Нгуен, Н. Ограниченная выносливость дефектных сварных швов корпусных конструкций / Н. Нгуен. - Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2016. – № 1. – С. 23-28.
12. Даффи А.Р., Мак Клур Дж.М., Эйбер Р.Дж., Макси У.А. Расчет конструкций на хрупкую прочность. // Разрушение. Т.5 М.: Машиностроение, 1977, с. 146-209.
13. Деев, Г.Ф. Дефекты сварных швов / Г.Ф. Деев, И.Р. Пацкевич. Киев: Наук. думка, 1984. – 208 с.
14. Петрова, Н.Е. Методика оценки надежности корпуса судна / Н.Е. Петрова. - Вестник МГТУ. - Т.12. – №1. – 2009. – С.42-45 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://vestnik.mstu.edu.ru/v12\\_1\\_n34/articles/10\\_petr.pdf](http://vestnik.mstu.edu.ru/v12_1_n34/articles/10_petr.pdf)
15. Петрова, Н.Е. Вероятностная оценка надежности элементов корпуса судна / Н. Петрова, Ж. Кумова // Морской флот.-2015.-№ 5. - С. 36-39: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://morvesti.ru/tems/detail.php?ID=60333>
16. Коновалов, Н.Н. Нормирование дефектов и достоверность неразрушающего контроля сварных соединений. - М.: ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность». – 2006. - 111 с.
17. Контроль качества сварки: учебное пособие для машиностроительных вузов / под. ред. В.Н. Волченко – М.: Машиностроение, 1975. – 328 с.
18. ГОСТ Р ИСО 5817-2009. Сварка. Сварные соединения из стали, никеля, титана и их сплавов, полученные сваркой плавлением (исключая лучевые способы сварки). Уровни качества. – Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 23 с.

#### References

1. Ovchinnikov, V.V. Proizvodstvo svarnykh konstruksii: uchebnik dlia ispol'zovaniia v uchebnom protsesse obrazovatel'nykh uchrezhdenii, realizuiushchikh programmy srednego professional'nogo obrazovaniia. Moskva: Forum, Moskva: INFRA-M. 2017. 287 s.
2. Ovchinnikov, V.V. Tekhnologiiia izgotovleniia svarnykh konstruksii: Uchebnik M.: ID FORUM, NITs INFRA-M. - 2015. - 208 s.
3. Korostylev L.I. Analiz i klassifikatsiia metodov otsenki ustalostnoi prochnosti svarnykh tonkostennykh konstruksii korpUSA sudna. Vestnik GUMiRF im. Adm. S.O. Makarova. – 2016. - 3(37). s.104-118 [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26202440>
4. Burmenskii A.D Chizhiumov S.D Proektirovanie konstruksii korpUSA sudna: Uchebnoe posobie. Komsomol'sk-na-Amure: GOUVPO «KnAGTU». 2006. 117 s.
5. Demichev S.F. Tekhnologiiia i oborudovanie svarochnogo proizvodstva. Uchebnoe posobie. Samara: Samarskii gosudarstvennyi aerokosmicheskii universitet, 2010. 78 s.
6. Rossiiskii morskoi Registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Korpus. - SPb.: FAU «RMRS». 2018. T.2. 205 s.
7. Rossiiskii morskoi Registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Svarka. - SPb.: FAU «RMRS». 2018. T.14. 105 s.
8. Korolev V. V. Issledovanie polei deformatsii sudovykh korpusov. Ekspluatatsiia morskogo transporta. 2008. №3(53). S. 73-75.
9. Nguen N., Nguen Z.L., Ruban A.R Metodika i rezul'taty otsenki vliianiia defektov svarki na mekhanicheskie svoistva sudostroitel'noi stali. Nauchnaia diskussiia: voprosy tekhnicheskikh nauk. 2015. № 9-10 (28). S. 44-50.
10. Nguen N., Ruban A.R. Vliianie defektov svarnykh shvov na mekhanicheskie svoistva korpusnoi stali, opredeliaemye pri dinamicheskom nagruzhenii. Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2015. № 4 (32). S. 126-130.

11. Nguen N. Ogranichennaia vynoslivost' defektnykh svarnykh shvov korpusnykh konstruksii . Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiya. 2016. № 1. S. 23-28.
12. Daffi A.R., Mak Klur Dzh.M., Eiber R,Dzh., Maksi U.A. Raschet konstruksii na khрупkuiu prochnost'. Razrushenie. T.5 M.: Mashinostroenie, 1977, s. 146-209.
13. Deev G. F. Defekty svarnykh shvov. Kiev: Nauk. dumka, 1984. 208 s.
14. Petrova N.E Metodika otsenki nadezhnosti korpusa sudna. - Vestnik MGTU. T.12. №1. 2009. S.42-45 [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: [http://vestnik.mstu.edu.ru/v12\\_1\\_n34/articles/10\\_petr.pdf](http://vestnik.mstu.edu.ru/v12_1_n34/articles/10_petr.pdf)
15. Petrova, N. Veroiatnostnaia otsenka nadezhnosti elementov korpusa sudna . Morskoi flot. 2015. N 5. S. 36-39: [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <http://morvesti.ru/tems/detail.php?ID=60333>
16. Konovalov N.N. Normirovanie defektov i dostovernost' nerazrushaiushchego kontrolya svarnykh soedinenii. - M.: FGUP «NTTs «Promyshlennaia bezopasnost'». 2006. 111 s.
17. Kontrol' kachestva svarki: uchebnoe posobie dlia mashinostroitel'nykh vuzov. pod. red. V.N. Volchenko – M.: Mashinostroenie, 1975. 328 s.
18. GOST R ISO 5817-2009. Svarka. Svarnye soedineniia iz stali, nikelia, titana i ikh splavov, poluchennyye svarkoi plavleniem (iskliuchaia luhevyye sposoby svarki). Urovni kachestva. – Vved. 2011 01 01. M.: Standartinform, 2011. 23 s

УДК [620.17/.179.1:621.791.05]: 629.5.023: 629.5.017

## АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТНОЙ НАДЕЖНОСТИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ С ДЕФЕКТАМИ НЕТРЕЩИНОПОДОБНОГО ТИПА

**Линь Зюи Нгуен**

аспирант кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: phoenix\_472@mail.ru

**Анатолий Рашидович Рубан**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Владимир Павлович Булгаков**

доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
e-mail: imtet@astu.org

**Расул Вагидович Гусейнов**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Организация и безопасность движения»  
Дагестанский государственный технический университет  
367015, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70А  
e-mail: imtet@astu.org

**Ибрагим Мусаевич Абачараев**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: imtet@astu.org

### Аннотация

Наличие внутренних дефектов в сварных соединениях не определяет потерю их работоспособности. Опасность дефектов определяется влиянием их характеристик (типы, виды, размеры и т.п.) и зависит от большого количества конструктивных и эксплуатационных факторов. Анализ и исследование влияния дефектов на работоспособность сварных соединений позволил сделать вывод, что допустимыми считаются менее опасные нетрещиноподобные дефекты типа пор и неметаллические включения размерами не больше установленных предельных допусков. Однако стоит отметить, что эти нормы допустимой дефектности являются технологическими, а значит, вероятнее всего, обеспечивают сильно завышенный запас прочности сварного соединения.

В статье рассмотрена выбранная авторами последовательность шагов для исследования прочностной надежности сварного соединения пластин из стали марки D36 с дефектами нетрещиноподобного типа на основе оценки уровня дефектности при одноосной схеме нагружения. Исследование состава и структуры дефектов нетрещиноподобного типа проводилось при помощи рентгенографического метода, визуально-измерительного контроля и расчетных методов на основе требований Правил Российского Морского Регистра Судоходства.

**Ключевые слова:** сварной шов, дефекты нетрещиноподобного типа, прочностная надежность сварного шва, уровень дефектности, оценка дефектности сварного шва.

## ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR ESTIMATING THE STRENGTH DURABILITY OF A WELDED JOINT WITH NON-CRACK-LIKE DEFECTS

**Lin Zuy Nguyen**

Postgraduate Student, Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: phoenix\_472@mail.ru

**Anatoly R. Ruban**

PhD in Engineering Science, Associate Professor  
Head of the Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16

e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Vladimir P. Bulgakov**

Dr.Sci.Tech, professor

Professor, Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University

e-mail: imtet@astu.org

**Rasul V. Guseynov**

Dr.Sci.Tech, Professor, Professor of the Department of "Organization and Traffic Safety"  
Dagestan State Technical University

367015, Republic of Dagestan, Makhachkala, pr. Imam Shamil, 70A

e-mail: imtet@astu.org

**Ibrahim M. Abacharaev**

Dr.Sci.Tech, Professor

Professor, Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University

414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16

e-mail: imtet@astu.org

### Abstract

The presence of internal defects in welded joints does not determine the loss of their durability. The danger of defects is determined by the influence of their characteristics (types, forms, sizes, etc.) and depends on a large number of design and operational factors. Analysis and study of the effect of defects on the performance of welded joints made it possible to conclude that less dangerous non-crack-like defects such as pores and non-metallic inclusions are considered as acceptable with dimensions not exceeding the established tolerances. However, it is worth noting that these standards for allowable defects are technological, and therefore, most likely, provide a greatly overestimated safety margin of the welded joint.

The article reviews the sequence of steps chosen by the authors for studying the strength reliability of welded joints of plates made of D36 steel with non-crack-like defects based on an assessment of the level of defectiveness under a uniaxial loading configuration. The study of the composition and structure of non-crack-like defects was carried out using the X-ray method, visual measurement control and calculation methods based on the requirements of the Rules of the Russian Maritime Register of Shipping.

**Key words:** weld, defects of non-crack-like type, strength durability of a weld, level of defectiveness, assessment of defects of a weld.

### Введение

Наличие внутренних дефектов в сварных соединениях не определяет потерю их работоспособности. Опасность дефектов определяется влиянием их характеристик (типы, виды, размеры и т.п.) и зависит от большого количества конструктивных и эксплуатационных факторов. Анализ и исследование влияния дефектов на работоспособность сварных соединений [17, 7] позволил сделать вывод, что допустимыми считаются менее опасные нетрещиноподобные дефекты типа пор и неметаллические включения размерами не больше установленных предельных допусков. Однако стоит отметить, что эти нормы допустимой дефектности [7] являются технологическими, а значит, вероятнее всего, обеспечивают сильно завышенный запас прочности сварного соединения.

#### 1. Постановка задачи исследования

Характерными сварными соединениями стальных корпусов судов являются продольные стыковые швы корпуса. Они определяют прочность корпуса при нагружении стыковых швов эксплуатационными внешними нагрузками. Ремонт таких швов, при выявлении внутренних дефектов нетрещиноподобного типа (ДНТ), которые не соответствуют уровню допустимой дефектности, увеличивает стоимость изготовления корпуса

судна. В этом случае, целесообразно провести исследование прочности стыковых швов с внутренними ДНТ гладкой формы (единичная пора и группа пор) на основе оценки их прочностной надежности.

В соответствии с поставленной задачей исследования прочности сварных швов с ДНТ была реализована технология изготовления образцов [17, 7, 4] при использовании радиографического метода контроля (РМК) для определения технологических характеристик материалов и сварного процесса, используемого при сборке стального сварного корпуса судна. Условия испытания материалов позволили обеспечить максимальное приближение к реальным условиям эксплуатации сварных швов корпуса судна для обеспечения требуемого качества результатов прочности сварного шва.

Для обеспечения экономии материальных, временных ресурсов и повышения точности получаемых ресурсов были допущены некоторые условия и упрощения для получения сварных швов с заданным набором ДНТ.

Исследование проводилось для листов прокатного металла марки D36, что подтверждено актом исследования химического состава по ГОСТ Р 52927-2015 [6] и толщиной от 14 до 25 мм, соединенных сварным швом (рис. 6). Пластины из листов металла марки D36 получены при помощи гильотинных ножниц с учетом направления прокатки. Каждая из 4-х пластин были

подготовлены под сварку при помощи механической обработки одной из кромок согласно ГОСТ 5264-80 [5]. Форма подготовленных кромок соответствует сварному шву - С17/С21. Сварка пластин выполнялась попарно - №1-2/3-4 (рис. 6) при помощи ручной дуговой сварки с применением электродов типа УОНИ-13/55.

Для исследования влияния прочности сварных швов с внутренними ДНТ при сварке пластин были созданы условия для образования дефектов гладкой формы в определенных участках сварного шва. Это необходимо для получения участков сварного шва с дефектами и участков, которые соответствуют требованиям Правил Российского Морского Регистра Судоходства (РМРС).

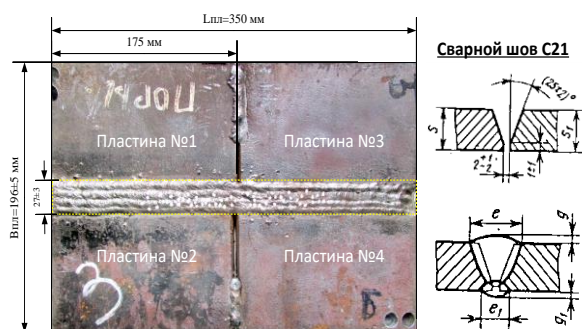


Рис. 6. Параметры стальной пластины №3 (s=s1=25 мм) для исследования влияния ДНТ на прочность сварного шва

Для определения типа, размера и места расположения ДНТ в сварном шве, внутренняя структура сварного шва, пластина №3, была исследована при помощи РМК (рис. 7).

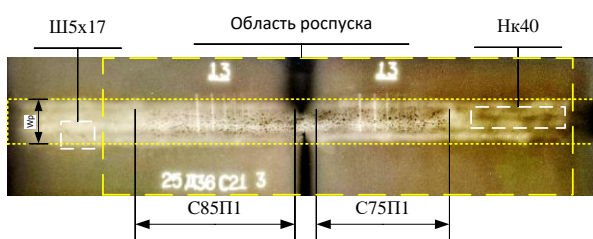


Рис. 7. Результаты РМК сварной пластины №3 с намеренно допущенным типом дефекта – одиночные поры и скопление пор (тип 2012, 2013 [7])

В соответствии с результатами исследования внутренней структуры сварного шва пластины №3 (рис. 7) РМК были обнаружены следующие виды ДНТ (обозначение по ГОСТ 30242 и Правил РМРС [7]):

- одиночные поры (2011) – дефект гладкой формы, при устранении которого требуется вырубка дефекта или его вычищение с последующей заваркой;
- скопление пор (2013) – концентратор напряжения, снижающий локальную прочность и плотность сварного шва (С85П1, С75П1). Для устранения дефекта требуется вырубка дефекта или его вычищение с последующей заваркой;
- шлаковое включение (301) – концентратор напряжения, снижающий прочность сварного шва при малоцикловых нагружениях (Ш5x17). Для

устранения дефекта требуется удалить дефектный участок шлифовальным инструментом и заварить, - непровар корня шва (402) – концентратор напряжений, который приводит к развитию трещин в сварном шве (Нк40). Для устранения дефекта требуется зачистить корень шва и заварить его повторно.

Анализ структуры расположения ДНТ (рис. 7) позволил составить схему роспуска пластины на планки (рис. 8, а) по ГОСТ 6996-66 [4] в соответствии с полученным РМК изображением несплошностей по длине шва. Особенностью такого анализа является отсутствие достоверной информации о геометрической характеристике вдоль оси Y (рис. 8, б) и глубине залегания обнаруженного ДНТ. При детальном изучении (рис. 8, в) структуры расположения и геометрических характеристик ДНТ (поры) было выявлено, что снимок РМК позволяет с достаточной точностью произвести аппроксимацию площади при помощи окружности диаметром 1 мм и определить расположение одиночного дефекта или группы в плоскости ZOX. В этом случае, при роспуске пластины №3 на планки, наличие определенного ранее ДНТ в структуре сварного шва (контролируемый дефект) позволит изучить конкретный дефект на прочность сварного шва.

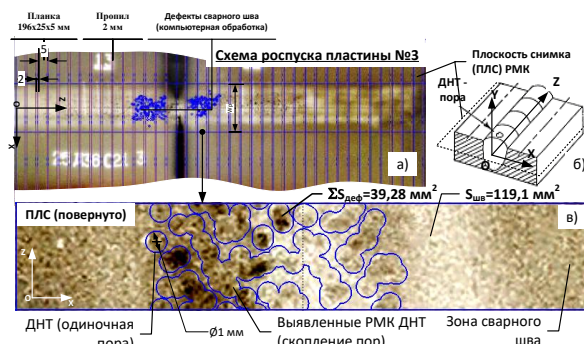


Рис. 8. Исследование структуры внутренних ДНТ сварного шва при помощи РМК для разработки схемы роспуска пластины №3 на планки (197x25x5 мм)

Перед роспуском пластины №3 на планки, усиление шва было снято механическим способом, а плоскость шва зачищено заподлицо с основным металлом. При изготовлении планок были учтены основные требования ГОСТ 6996-66 «Сварные соединения. Методы определения механических свойств» [4] (рис. 9, в), предъявляемые к заготовкам при проведении механических испытаний сварного соединения (рекомендуется при толщине металла от 10 до 25 мм длину свариваемых пластин принимать равной не менее 100 мм). Кроме этого, для обеспечения отсутствия стесненности деформаций при статистическом исследовании на растяжение на основе схемы одноосного напряженного состояния [17] было соблюдено условие соотношения между толщиной и шириной (не менее 1/5) вырезаемых из пластины планок. Каждая из планок была подвергнута в дальнейшем механической обработке для

устранения заусенцев с граней и неровностей при помощи ручного напильника для исключения появления возможных погрешностей последующих измерений.

В соответствии с рисунком 9 (а), полученные планки (37 штук) подготовлены по ГОСТ 6996-66 для проведения испытаний на растяжение (рис. 9, в). С учетом имеющихся данных о ДНТ в сварном шве, для уточнения структуры и геометрических характеристик дефектов в планке, был использован РМК (рис. 9, б). Для каждой из планок произведены замеры геометрических параметров, которые оказывают влияние на прочность ( $W_p$ ,  $b_1...b_5$ ,  $L$ ). Кроме геометрических параметров был проведен визуально-измерительный контроль внутренних ДНТ пластины №3, которые попали в плоскость роспуска на планки. Контроль выполнялся для количества ДНТ, геометрических характеристики и расположения относительно торцов планки  $A_1$ ,  $A_2$ .

Исследование влияния структуры и количества ДНТ на прочность сварного шва опирается на требования Правил РМРС [7], которые определяют критерии классификации несплошностей, обнаруженных по результатам проведения РМК сварного соединения.

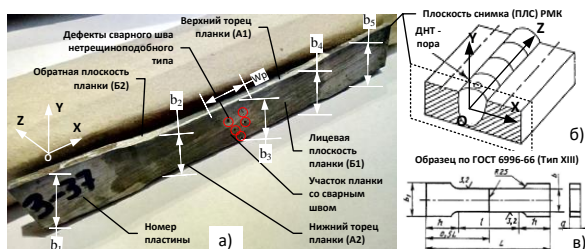


Рис. 9. Схема исследования структуры ДНТ при помощи роспуска пластины №3 на планки ( $t=5\pm 0,5$ ) по ГОСТ 6996-66 тип XIII

Результаты оценки влияния этих несплошностей на прочностные характеристики могут привести к увеличению необоснованных ремонтов сварных соединений. Кроме этого, установлены различные нормы отбраковки для типов дефектов, определяемых по результатам анализа их проекций на рентгеновском снимке, приводит к отсутствию удовлетворительной повторяемости результатов контроля. Таким образом, в настоящее время актуальным является вопрос об изменении критериев оценки качества за счет установления однозначных правил принятия решения об отнесении изображения несплошности к определенному типу с оценкой изменения уровня прочностной надежности на основе расчета дефектности сварного шва.

## 2. Анализ результатов исследования структуры ДНТ в сварных швах

В соответствии с рисунком 8 (в), выявленные при помощи РМК внутренние ДНТ (пластина №3) рассматриваются как сумма проекцией площади дефектов  $\sum S_{деф}$  на плоскость рентгеновского снимка. Согласно требованиям РМРС [7] к качеству сварного шва для одиночных, равномерно

распределенных пор и скопления пор для оценки качества сварного шва можно использовать следующие критерии: сумма площадей проекций пор  $[A_{деф}]$ , отнесенная к площади снимка которые они занимают по отношению к площади шва ( $W_p \times L$ ) на любом (с наибольшей плотностью дефектов) участке шва, длиной 100 мм, максимальный диаметр пор  $d$  в зависимости от толщины свариваемого металла (диаметра поры ограничено максимальным значением в зависимости от уровня качества). В связи с тем, что оценка качества сварного соединения проводится при помощи анализа, полученных РМК снимков с достаточно низким разрешением, то целесообразно использовать в дальнейшем параметр площади дефектов в качестве основного параметра для обоснования допустимости ДНТ.

В работе [17] приводится методика оценки опасности дефектов в эксплуатационном аспекте на основе расчета статистического показателя дефектности сварного шва  $-g = \sum \Delta S / S_p$ , %, где  $\Delta S$  – площадь проекции единичного или группового дефекта,  $S_p$  – расчетное сечение контролируемого элемента (площадь сварного шва) в плоскости ZOX (рис. 8, в – плоскость снимка РМК) или плоскость YOX (рис. 9, б – плоскости роспуска пластины на планки). В обоих случаях понятие дефектности может быть использовано для оценки качества сварного шва.

В соответствии с рисунком 10, представлены результаты визуальной обработки двух поверхностей планок в плоскости (рис. 9, а - плоскость  $B_1$ ,  $B_2$ ) роспуска, полученные механическим путем, что позволило избежать поверхностного упрочнения и перегрева металла.

Анализ структуры поверхности металла сварного соединения на наличие ДНТ позволяет определить для двух плоскостей на планке: количество дефектов, расположение, размер и площадь отдельных и группы дефектов, область расположения дефектов по отношению к сварному шву. Для плоскости  $S_{B1}=211,56$  мм<sup>2</sup>, размер области расположения ДНТ составляет 17,2x12,3 мм, а для плоскости  $S_{B2}=15,5x11,6=179,8$  мм<sup>2</sup>. В обозначенных на планке областях расположены одиночные поры и скопление пор (рис. 10, а-б), где суммарная площадь дефектов составляет  $S_{B1,деф} = 25,25$  мм<sup>2</sup>, а для  $S_{B2,деф} = 21,95$  мм<sup>2</sup>, что в среднем составляет 12% от области расположения дефектов на плоскости. Проекция геометрических размеров ДНТ на ось Y, X (рис. 10, а, б) позволяет проанализировать места, где скопление дефектов существенно уменьшают сечение планки. Кроме этого, предполагается, что часть ДНТ скрыто от визуального наблюдения и расположено во внутреннем объеме металла планки. Для определения суммарной площади дефектов был использован РМК в плоскости перпендикулярной плоскости планки  $B_1$  (рис. 10, в). Анализ полученного снимка поверхностей  $B_1$  и  $B_2$  (рис. 10, а, б) планки и РМК (рис. 10, в) позволяет сделать вывод о значительном объеме ДНТ, которые скрыты в теле сварного шва планки.



В соответствии с рекомендациями [17] для расчета величины дефектности плоскости снимка РМК необходимо определить расчетное сечение контролируемого элемента (площадь сварного шва) –  $S_p$ , например, пластина №3 с дефектами типа скопления пор (рис. 8, в). Для планки известны параметры дефектов, полученные при помощи РМК в плоскости ZOX и YOX. Расчетная площадь сварного шва в плоскости ZOX составит  $S_{p,ZOX} = b_3 \cdot t = 23,2 \cdot 5 = 116,1 \text{ мм}^2$  (рис. 8, в) а для плоскости YOX  $S_{p,YOX} = 354 \text{ мм}^2$  (значение площади получено при помощи измерения площади шва на планке – см. рис. 10, а-б). Предварительная оценка уровня дефектности для плоскости ZOX -  $g_{ZOX} = \sum S_{\text{деф}} / S_{p,ZOX} = 39,28 / 116,1 = 33,8\%$ , а для плоскости YOX -  $g_{YOX} = \sum (S_{B1_{\text{деф}}} + S_{B2_{\text{деф}}}) / S_{p,YOX} = 47,2 / 354 = 13,3\%$ .

На рисунке 10 (в) приведен анализ области распространения ДНТ сварного шва планки, которые были обнаружены при помощи РМК. Размер области, где расположены ДНТ -  $S_{\text{РМК}} = 18,1 \times 13,4 = 242,54 \text{ мм}^2$ , что больше области  $B_1$  на 12,8% и  $B_2$  на 26%. Это означает, что скрытые в теле планки ДНТ имеют большее распространение, чем обнаруженные при помощи визуально-измерительного контроля. При использовании полученных при помощи РМК значения площади ДНТ  $g_{YOX} = S_{\text{деф}} / S_{p,YOX} = 86,12 / 354 = 24,3\%$ , что на 11% больше, чем при использовании только значений площади дефектов -  $S_{B1_{\text{деф}}}, S_{B2_{\text{деф}}}$  и означает, что 11% дефектов находятся внутри металла планки. В случае одноосного растяжения планок это может оказать негативное влияние на прочность сварного соединения, которое под действием растягивающих сил в одноосном направлении будет деформировать металл планки до ее разрушения в области основного металла или металла сварного шва.

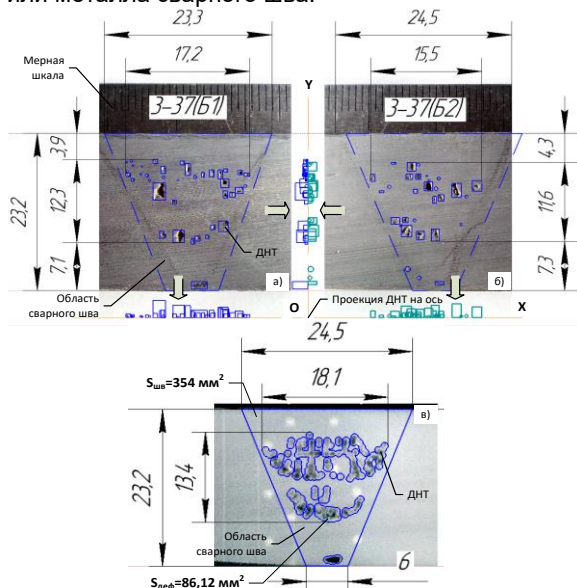


Рис. 10. Структура внутренних ДНТ в сварном шве планки №37, выявленных при роспуске пластины №3

В соответствии с рисунком 10, ДНТ на плоскости  $B_1$  и  $B_2$  планки были геометрически

ориентированы вдоль оси Y и X (рис. 10, а-б), что позволяет получить представление о локальном снижении прочности в сечении сварного шва планки. Для определения локальных областей снижения прочности был разработан метод для составления схемы размещения ДНТ (рис. 11, а) в плоскости  $B_1$  и  $B_2$  роспуска пластины №3 на планки. Данная схема позволяет геометрически сориентировать выявленные ДНТ в плоскости  $B_1$  и  $B_2$  относительно оси Y и X. На рисунке 11 (а) вдоль 3-37 $B_{1x}$  и 3-37 $B_{2x}$ , геометрически сориентированы дефекты, отражающие локальное изменение прочности сечения вдоль оси Y, а вдоль 3-37 $B_{1y}$  и 3-37 $B_{2y}$  – локальное изменение прочности сечения сварного шва вдоль оси X. Для отображения дефектов используются геометрические фигуры – прямоугольник (дефект в виде эллипса), окружность (дефект имеет правильную геометрическую форму в виде круга).

Анализ расположения ДНТ вдоль осей позволяет определить локальную критическую область разрушения, где толщина планки минимальна ( $t_{\text{min}} < 5 \text{ мм}$ ). На рисунке 11 (а) такая область расположена на пересечении линий с наименьшей толщиной планки.

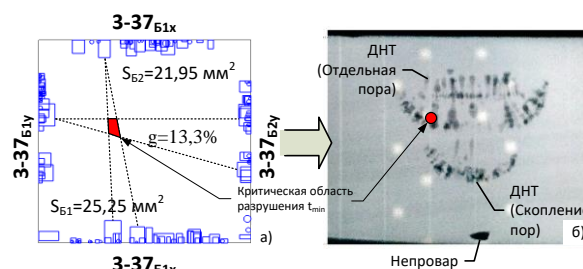


Рис. 11. Структура внутренних ДНТ в сварном шве планки №37, полученных при помощи РМК

Сопоставляя полученные экспериментальным путем данные по структуре и составу ДНТ при использовании РМК ( $g_{ZOX} = 33,8\%$ ), в качестве метода оценки качества сварного соединения (рис. 7) и предлагаемого авторами данной работы метода (сочетание РМК и расчетного метода - рис. 8-11, при  $g_{YOX} = 24,3\%$ ), был определен уровень дефектности сварного шва и возможная область начала разрушения при растяжении планки. Разница между значениями дефектности для плоскости ZOX и YOX составляет -  $\Delta g = 9,5\%$ , что может являться основанием для уточнения критериев оценки уровня качества сварного соединения, так как данные, полученные РМК (рис. 8) не позволяют оценить расположение и вклад ДНТ в общее снижение прочности сварного соединения или расчетной дефектности.

**Выводы**

Рассмотренная выше последовательность исследования структуры и состава ДНТ в сварном шве при помощи РМК и визуально-измерительного контроля позволяет детализировать объект исследования для разработки математической модели изменения локальной надежности сварного стыкового соединения с учетом наличия одиночных

пор или группы пор на основе расчета уровня дефектности сварного шва.

Оценка прочностной надежности сварного соединения с ДНТ базируется на работах [17-2] что позволяет на этапе формирования статистических показателей прочности (например, уровень дефектности сварного шва) использовать выявленные ранее зависимости изменения прочности от расчетного уровня дефектности сварного соединения. Например, на рисунке 11

уровень дефектности в плоскости ZOХ/YOX оказывает влияние на прочность соединения, снижая ее на 15-20%, но при этом сохраняя несущую способность самого соединения.

Для определения функциональных зависимостей между прочностью, уровнем дефектности будет проведена серия экспериментов на растяжение планок для получения данных о поведении сварного соединения из металла марки D36 с выявленными при помощи РМК ДНТ в структуре сварного шва.

#### Литература

1. Контроль качества сварки: учебное пособие для машиностроительных вузов / под. ред. В.Н. Волченко – М.: Машиностроение, 1975. – 328 с.
2. Прикладная механика твердого деформированного тела / А.П. Филин. – Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1975. – Т.1 – 832 с.
3. Российский морской Регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Сварка. - СПб.: ФАУ «РМРС», - 2018. - Т.14. - 105 с.
4. ГОСТ 6996-66 Сварные соединения. Методы определения механических свойств. – М.: Стандартиформ, 2006. – 44 с.
5. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – М.: Стандартиформ, 2005. – 33 с.
6. ГОСТ 52927-2015 Прокат для судостроения из стали нормальной, повышенной и высокой прочности. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2017. – 61 с.

#### References

1. Kontrol' kachestva svarki: uchebnoe posobie dlia mashinostroitel'nykh vuzov. pod. red. V.N. Volchenko M.: Mashinostroenie, 1975. 328 s.
2. Prikladnaia mekhanika tverdogo deformirovannogo tela. Glavnaia redaksiia fiziko-matematicheskoi literatury izd-va «Nauka», 1975. T.1. 832 s.
3. Rossiiskii morskoi Registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Svarka. SPb.: FAU «RMRS», 2018. T.14. 105 s.
4. GOST 6996-66 Svarnye soedineniia. Metody opredeleniia mekhanicheskikh svoistv. M.: Standartinform, 2006. 44 s.
5. GOST 5264-80 Ruchnaia dugovaia svarka. Soedineniia svarnye. Osnovnye tipy, konstruktivnye elementy i razmery. M.: Standartinform, 2005. 33 s.
6. GOST 52927-2015 Prokat dlia sudostroeniia iz stali normal'noi, povyshennoi i vysokoi prochnosti. Tekhnicheskie usloviia. M.: Standartinform, 2017. 61 s.

УДК 629.12

## ПРОГРАММА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ СБОРКИ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДОВЫХ СИСТЕМ

**Константин Николаевич Сахно**

доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры "Судостроение и энергетические комплексы морской техники"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: k.sakhno@mail.ru

**Мань Тат До**

аспирант кафедры "Судостроение и энергетические комплексы морской техники"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: dotatmanh@gmail.com

**Расул Вагидович Гусейнов**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Организация и безопасность движения»  
Дагестанский государственный технический университет  
367015, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70А  
e-mail: imtet@astu.org

**Владимир Муратович Цалоев**

старший преподаватель кафедры "Судовое электрооборудование"  
Севастопольский государственный университет  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
e-mail: 1.\_@mail.ru

**Владимир Павлович Булгаков**

доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
e-mail: imtet@astu.org

### Аннотация

Развитие современного судостроения связано с ростом объемов работ и повышением требований к технологии изготовления и монтажу судовых трубопроводов. В настоящее время ряд проектно-конструкторских предприятий отрасли разрабатывает сборочные чертежи с координатами трасс трубопроводов, альбомы карт с эскизами труб, на основе которых изготовление труб без пригоночных работ на судне может быть осуществлено, начиная с головного судна. При этом для проектирования трубопроводов и выдачи информации для запуска труб в обработку широко применяется компьютерные технологии. В данной работе рассматривается проблема повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования и монтажа с обеспечением возможности сборки труб без снятия размеров по месту и ее решение в рамках исследований взаимосвязи конфигурации и компенсационных возможностей трубопроводных трасс. Разработана автоматизированная программа «VAST» для определения области достижимости и возможности сборки трасс трубопроводов на стадии проектно-технологической подготовки. Использование программы позволяет определение оптимального способа исключения фактических отклонений при монтаже. Предлагаемая разработка позволяет на стадии проектирования управлением и снижением возможных отклонений, возникающих при изготовлении труб, минимизировать зазоры, устанавливаемые при трассировке трубопроводов.

**Ключевые слова:** программа «VAST», область достижимости сборки, трубопроводы, трассировка, забойная труба, пригоная труба, технологический припуск, исключения фактических отклонений.

## THE SOFTWARE PROGRAM FOR AUTOMATED DETERMINATION OF ABILITY FOR ASSEMBLY OF PIPELINE ROUTES FOR DESIGNING SHIP SYSTEMS

**Konstantin N. Sakhno**

Dr.Sci.Tech, Associate Professor,  
Professor, Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: k.sakhno@mail.ru

**Man Tat Do**

Postgraduate Student, Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering

Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: dotatmanh@gmail.com

**Rasul V. Guseynov**

Dr.Sci.Tech, Professor, Professor of the Department of "Organization and Traffic Safety"  
Dagestan State Technical University  
367015, Republic of Dagestan, Makhachkala, pr. Imam Shamil, 70A  
e-mail: imtet@astu.org

**Vladimir M. Tsaloev**

Senior Lecturer of the Department of Ship Electrical Equipment  
Sevastopol State University  
299053, Sevastopol, Universitetskaya, 33  
e-mail: 1.\_@mail.ru

**Vladimir P. Bulgakov**

Dr.Sci.Tech, professor  
Professor, Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
e-mail: imtet@astu.org

**Abstract**

The development of modern shipbuilding is associated with an increase in the volume of work and an increase in the requirements for the manufacturing technology and installation of ship pipelines. At present, a number of design enterprises in the industry develop assembly drawings with coordinates of pipeline routes, sketch-books of maps with sketches of pipes, based on which the manufacture of pipes without fitting work on a ship can be carried out starting with the first-in-class ship. At the same time, computer technology is widely used for designing pipelines and issuing information for launching pipes into processing. In this paper, we consider the problem of improving the processability of pipelines of ship systems at the design and installation stage, ensuring the possibility of assembling pipes without dimensioning in situ and solving it within the framework of studies on the relationship between configuration and compensation capabilities of pipeline routes. The automated software VAST has been developed in order to define the attainability set and potential to assemble pipeline routes at the stage of design-engineering arrangements. The use of the software program makes it possible to determine the optimal way to exclude the actual deviations during installation works. The proposed development makes it possible at the design stage of control and reduction of possible deviations arising in the manufacture of pipes, to minimize the gaps that are established during pipeline routing.

**Key words:** VAST software, attainability set for assembly, pipelines, tracing, inserting pipe, fitted pipe, process allowance, eliminations of actual deviations.

**Введение**

Для применения результатов исследований [1 – 4] в условиях промышленного производства, разработана автоматизированная программа расчета «VAST» [5]. Программа предназначена для определения возможности сборки трасс трубопроводов и значений технологических припусков, назначаемых на концевых участках пригоняемых труб. Программа позволяет:

- Определить количество и длины прямых труб и свободные соединения заданной трассы;
- Проанализировать конфигурацию трассы, найти и построить область достижимости, а также определить значения припусков, предназначенных для устранения возможных отклонений.
- Определить оптимальный способ перемещения труб для исключения фактических отклонений при монтаже.

На рисунке 1 представлен интерфейс программы.

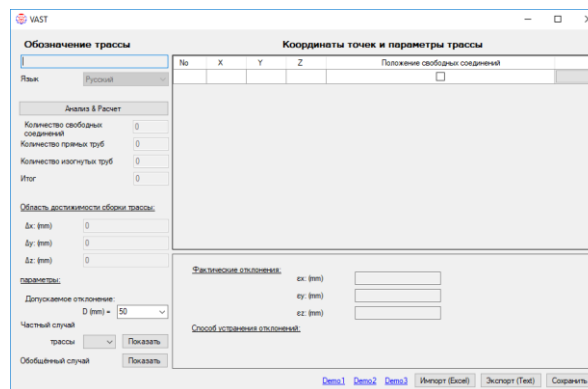


Рис. 1. Интерфейс программы

**Методика использования программы «VAST» на стадии проектно-технологической подготовки**

Для ввода координат точек трассы (точек погиба) есть 2 способа:

- Вручную ввести: то есть заполняем номер точки, ее абсциссу x, ординату y, аппликату z в соответствующие поля (см. рис. 2). Такую процедуру также применяем, когда надо добавить новую точку.

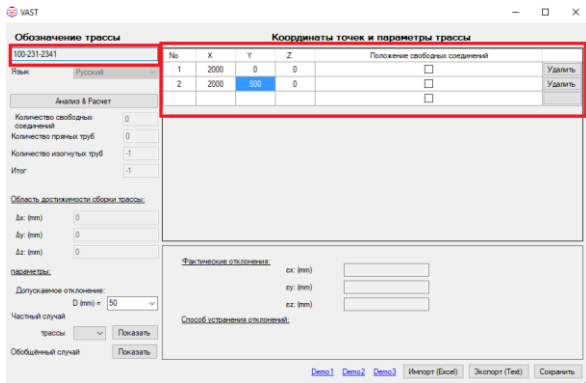


Рис. 2. Введение координат точек погиба трассы

- Импортируем все координаты точек погиба трассы и положение свободных соединений из файлов Excel (рис. 3). Большинство судостроительных заводов, в том числе и в СР Вьетнама, сохраняет координаты трассы в файлах Excel (рис. 4), поэтому этот способ ввода более эффективный. Мы также можем использовать кнопку «Удалить» для редактирования исходных данных.

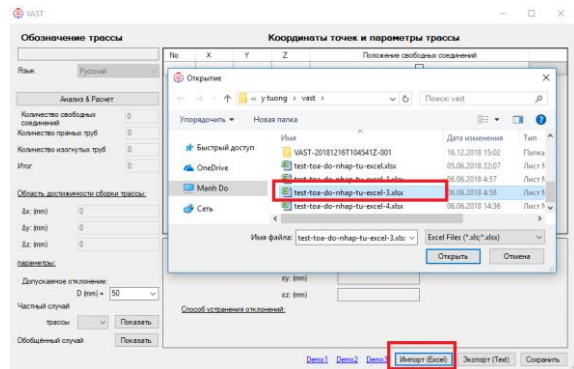


Рис. 3. Импорт координат точек погиба трассы и положения свободных соединений из файлов Excel

	A	B	C	D	E
1	Name of route:	101-333-212L126			
2	No	x	y	z	n
3	1	1000	0	0	n
4	2	1000	200	0	n
5	3	1000	400	0	n
6	4	1000	600	0	n
7					

Рис. 4. Информация о трассе в файлах Excel

В файле .excel показываются данные о названии трасс на чертеже, координаты точек и положения свободных соединений на трассе трубопроводов.

После ввода исходных данных, с помощью программы можно найти прямые трубы и трубы с погибами в заданной трассе, определить области достижимости сборки трассы и назначить припуски. Нажимаем кнопку «Анализ & Расчет», тогда появится окно с указанием результатов. Все полученные программой результаты расчёта представлены на рисунке 5.

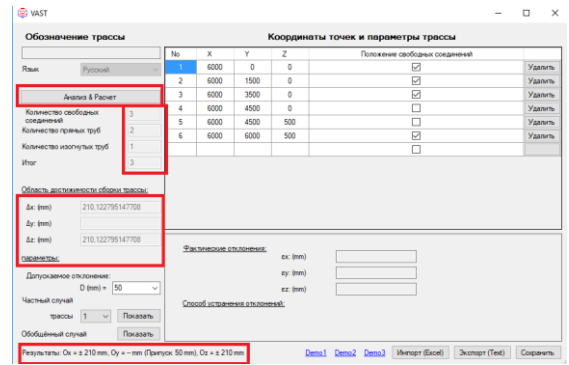


Рис. 5. Кнопка «Анализ & Расчет» и результаты анализа и расчета на экране программы VAST

Для каждого судостроительного завода есть свои требования, в которых определяются разрешаемые допуски при монтаже трубопроводов судовых систем [6, 7]. В процессе проектно-технологической подготовки можно использовать эти величины для сопоставления с величинами границы области достижимости по всем направлениям. Если величина области достижимости больше, чем величина области отклонений, то трасса собрана полностью из готовых труб. Если величина области достижимости меньше величины области отклонений, то трасса не может быть собрана полностью из готовых труб. Для предотвращения этой ситуации необходимо использовать припуски или корректировать конфигурацию в стадии проектирования.

Мы можем увеличивать область достижимости путём увеличения количества прямых труб в трассах или разумно переставить положения свободных соединений. По результатам проведённых исследований разработана технология изготовления и монтажа трубопроводов по проектной информации без уточнения размеров по месту. Для этого сначала необходимо ввести величину допуска (рис. 6).

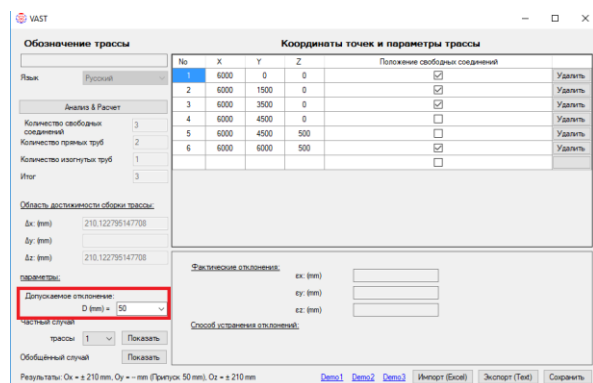


Рис. 6. Ввод величины допуска

С помощью программы мы можем построить траекторию смещения конечной точки трассы (области достижимости сборки) в виде 3D. Если мы хотим получить траекторию смещения конечной точки трассы в случае поворота конкретной трубы, тогда выбираем эту трубу и нажимаем кнопку «Показать» в пункте «Частный случай» (рис. 7).

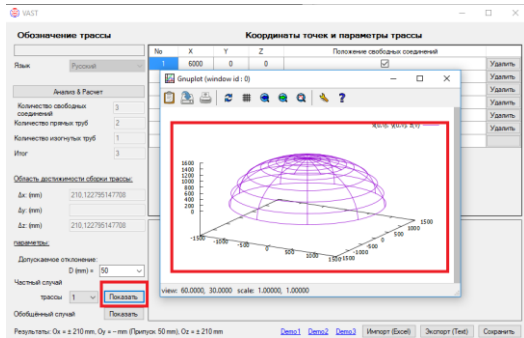


Рис. 7. Вид траектории смещения конечной трубы трассы в пункте «Частный случай»

Если мы хотим получить траекторию смещения конечной точки трассы в случае поворота нескольких труб трассы, тогда выбираем эту трубу и нажимаем кнопку «Показать» в пункте «Обобщенный случай» (рис. 8).

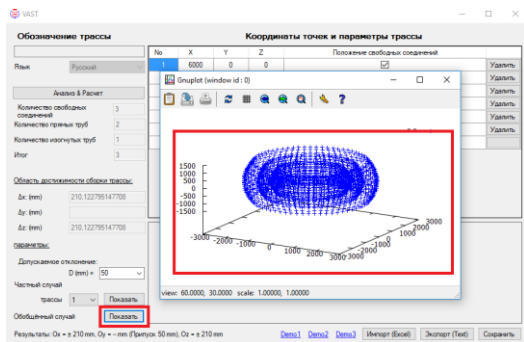


Рис. 8. Вид траектории смещения конечной трубы трассы в пункте «Обобщенный случай»

После расчета, мы узнаем возможности сборки трассы путём использования прямых участков труб.

**Методика использования программы «VAST» для определения способа вращения труб трасс при монтаже**

После изготовления трасс трубопроводов с помощью программы «VAST», в процессе монтажа ещё ей нужно. В этом процессе всегда возникают погрешности, отклонения от теоретических положений. Для устранения этих отклонений необходимо поворачивать прямые трубы по предлагаемому методу. Чтобы сообщить рабочим информации порядок выполнения и поворачивать какие трубы и необходимых углов поворотов труб надо показать параметры. Для этого необходимо ввести величины фактических отклонений  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$  в программу «VAST», она даст в результате оптимальный способ для успешного монтажа по предлагаемому методу (рис. 9).

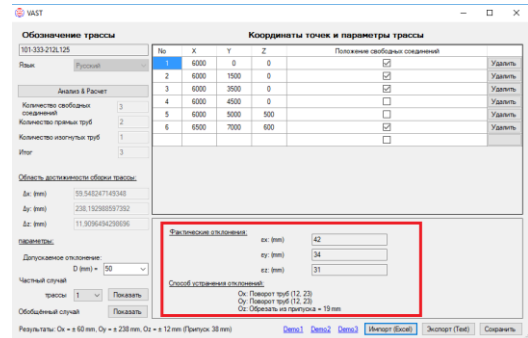


Рис. 9. Определения способа устранения отклонений при сборке трассы

С помощью разработанной программы «VAST» мы также можем экспортировать результаты расчёта в виде текстового файла .txt в кнопку «Экспорт» (рис. 10).

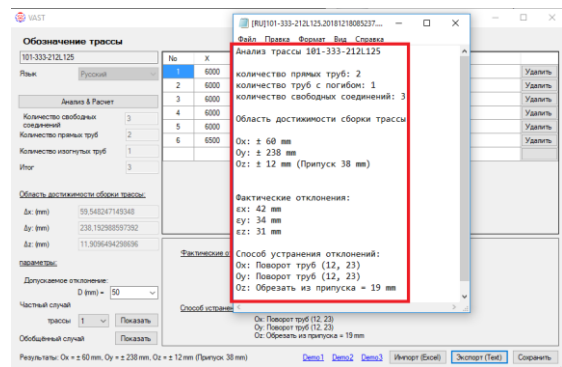


Рис. 10. «Экспорт» результатов анализа и расчета трассы

Если область достижимости трассы трубопроводов слишком маленькая, то программа даёт объявление «Необходимо корректировать эту трассу» (рис. 11).

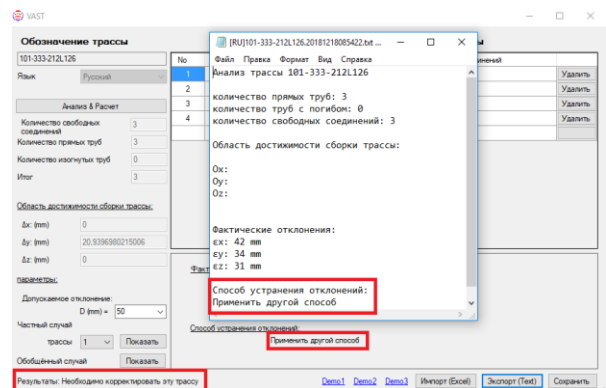


Рис. 11. «Экспорт» результата «Необходимо корректировать эту трассу»

**Методика определения возможности сборки трасс трубопроводов**

Процедура определения возможности компенсации начинается с анализа трасс труб. В трассе мы находим количество и длины прямых труб, а также расстояния между соседними соединениями. Обнаруживаем, что когда поворачиваем одну трубу по фиксированной оси

(свободное соединение), то конечная точка трассы будет двигаться по траектории сегмента, радиусом расстояния между двумя соединениями и не зависит от конфигурации трассы. Для применения предлагаемого метода в трассе должна быть имеется минимум одна прямая труба, чтобы иметь возможность возвращать конечную трубу в первоначальное положение после поворотов других труб трассы. Если в трассе нет ни одной прямой трубы, то необходимо вернуться и корректировать эту трассу [8-10]. Если в трассе имеется минимум одна труба, то мы продолжаем расчёт для определения величины области достижимости сборки трассы по направлениям  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ . Если все полученные результаты больше регламентируемых величин ( $50 \pm 100$  мм) [6, 7], то ни в одном из трех направлений не требуется назначать припуск. Тогда рассмотренная трасса труб имеется возможность 100 % -ой сборки (уровень 1). Если в каком-то направлении величина меньше регламентируемой, то назначается припуск в этом направлении (уровень 2). Если в двух направлениях величины меньше регламентируемых, то назначаются припуски в этих направлениях (уровень 3). Если во всех трех направлений величины меньше чем регламентируемых необходимо возвращать и корректировать трассу в процессе проектирования трубопроводов. Мы можем расширить область достижимости путём увеличения количества прямых труб в трассах или разумно переставить положения свободных соединений. По результатам проведенных исследований разработана технология изготовления и монтажа трубопроводов по проектной информации без уточнения размеров по месту.

Для определения возможности сборки трасс трубопроводов и исключения отклонений,

возникающих в процессе монтажа систем из готовых труб и пригоняемых труб, гибка (изготовление конфигурации) которых выполнена только по проектной информации, определены к использованию элементы конфигурации трасс трубопроводов: прямые трубы, изготовленные с максимальной точностью взаимного расположения соединений.

Повороты указанных элементов конфигурации позволяют компенсировать суммарные отклонения перемещением трассы трубопровода.

При использовании систем автоматизированного проектирования анализ трасс на технологичность начинается после размещения (прокладки) трасс трубопроводов, и разделения трасс на трубы, расстановки соединений и путевой арматуры.

Указанный порядок определения уровня обеспечения возможности сборки трасс трубопроводов и значений припусков может быть проведен в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения «VAST».

### Заключение

Основным итогом исследованной работы является решение научных задач, обеспечивающих получение следующих основных результатов: Изложено описание общего назначения и функций программного обеспечения для ЭВМ, получено свидетельство о государственной регистрации программы для №2018611683, «VAST». Зарегистрировано 06.02.2018. Использование программы позволяет определять возможности сборки трасс трубопроводов на стадии проектирования и оптимальный способ устранения фактических отклонений при монтаже.

### Литература

1. До, Т.М. Разработка теоретической основы исследования компенсационных возможностей отклонений в судовых системах трубопроводов [Текст] / Т.М. До, К.Н. Сахно // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018.— Т10 (№ 2). — С. 356–362.
2. До, Т.М. Моделирование процесса компенсации отклонений трасс судовых трубопроводов при использовании прямых труб / Т.М. До, К.Н. Сахно // Материалы международной научной конференции профессорско-преподавательского состава АГТУ (62 НПР) – Астрахань : изд-во АГТУ, 2018.
3. До, Т.М. Разработка метода обеспечения возможности сборки трубопроводов с учётом особенностей проектной трассировки судовых систем / К.Н. Сахно, Т.М. До, П.А. Саадати, М.М. Саббир // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – №4(42). - Т.4. – С.50-56
4. Сахно, К.Н. Научные основы повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования: дис. ... д-ра техн. наук; специальность: 05.08.04 – технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства/ К. Н. Сахно. Астрахань: АГТУ, 2012. – 353 с.
5. До, Т.М. Программное обеспечение «VAST» [Электронный ресурс]: программа для ЭВМ / Т.М. До, Н.Д. Тхай, К.Н. Сахно // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611683. Зарегистрировано 06.02.2018.
6. РД 5Р.0005-93. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Требования к проектированию, изготовлению и монтажу труб по эскизам и чертежам с координатами трасс трубопроводов. – СПб. : ЦНИИТС.
7. ОСТ 5.95057-90. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов. Л.: НПО «Ритм».
8. Cao, N.V. Nghien cuu ung dung phan mem ship constructor vao thiet ke cong nghe he thong duong ong tau thuy bang mo hinh 3D tren may vi tinh / N.V. Cao // Tap chi: Khoa hoc cong nghe hang hai. — 2007. — № 10. — С. 84–86.
9. Niu, W. Ship pipe routing design using NSGA-II and Coevolution algorithm / W. Niu, S. Haiteng, N. Yaxiao, C. Kunhai and G. Weiguo // Hindawi publishing corporation: Mathematical problems in Engineering, Tianjin University, China – Vol. 4. – 2016 – 21 p.

10. Rourke P.W. Development of a three-dimensional pipe routing algorithm / P. W. Rourke // Bethlehem: Thesis Lehigh University, 1975.

#### References

1. Do T.M and Sakhno, K.N. "Razrabotka teoreticheskoy osnovy issledovaniya kompensatsionnykh vozmozhnostey otkloneniy v sudovykh sistemakh truboprovodov". Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. — Sankt-Peterburg, 2018.— T10 (№2). —Pp. 356–362.
2. Do T.M and Sakhno, K.N. "Modelirovaniye protsessa kompensatsii otkloneniy trass sudovykh truboprovodov pri ispolzovanii pryamykh trub". Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii professorsko-prepodavatelskogo sostava AGTU (62 NPR) – Astrahan : izd-vo AGTU, 2018.
3. Do T.M, Sakhno, K.N., Saddti P.V. and Sabbir M.M. "Razrabotka metoda obespecheniya vozmozhnosti sborki truboprovodov s uchetom osobennostey proektnoy trassirovki sudovykh sistem". Marine Intellectual Technologies. – Saint-Peterburg, 2018. – №4(42). - T.4 Pp.50-56
4. Sakhno, K.N. Nauchnye osnovy povysheniya tekhnologichnosti truboprovodov sudovykh sistem na stadii proektirovaniya: Dr. diss. Astrakhan': AGTU, 2012.
5. Do T.M., Thai N.D. and Sakhno, K.N. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM "VAST" № 2018611683. Zaregistrirovano 06.02.2018.
6. Russian Federation. RD 5P.0005-93. Sistemy sydovye i sistemy sydovykh ehnepegetisheckikh ystanovok. Trebovaniya k ppoektirovaniyu, izgotovleniyu i montazhy tpyb po ehskizam i cheptezham s koordinatami tpass tpyboprovodov. SPb. : TSNITS.
7. Russian Federation. OST 5.95057-90. Sistemy sudovyye i sistemy sudovykh energeticheskikh usta-novok. Tipovoy tekhnologicheskyy protsess izgotovleniya i montazha truboprovodov. RTP NPO «Ritm».
8. Cao N.V. Nghien cuu ung dung phan mem ship constructor vao thiet ke cong nghe he thong duong ong tau thuy bang mo hinh 3D tren may vi tinh / N.V. Cao // Tap chi: Khoa hoc cong nghe hang hai. — 2007. — № 10. — C. 84–86.
9. Niu W. Ship pipe routing design using NSGA-II and Coevolution algorithm / W. Niu, S. Haiteng, N. Yaxiao, C. Kunhai and G. Weiguo // Hindawi publishing corporation: Mathematical problems in Engineering, Tianjin University, China – Vol. 2016 – 21p.
10. Rourke P.W. Development of a three-dimensional pipe routing algorithm / P.W. Rourke // Bethlehem: Thesis Lehigh University, 1975.



УДК 629.12

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ СБОРКИ СУДОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЯМЫХ ТРУБ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ДОПУСКАЕМЫМ СМЕЩЕНИЕМ СОЕДИНЕНИЙ

**Константин Николаевич Сахно**

доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры "Судостроение и энергетические комплексы морской техники"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: k.sakhno@mail.ru

**Мань Тат До**

аспирант кафедры "Судостроение и энергетические комплексы морской техники"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: dotatmanh@gmail.com

**Расул Вагидович Гусейнов**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Организация и безопасность движения»  
Дагестанский государственный технический университет  
367015, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70А  
e-mail: imtet@astu.org

**Владимир Муратович Цалоев**

старший преподаватель кафедры "Судовое электрооборудование"  
Севастопольский государственный университет  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
e-mail: 1.\_@mail.ru

**Владимир Павлович Булгаков**

доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
e-mail: imtet@astu.org

### Аннотация

В данной работе рассматривается проблема повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования и монтажа с обеспечением возможности сборки труб без снятия размеров по месту и ее решение в рамках исследований взаимосвязи конфигурации и компенсационных возможностей трубопроводных трасс. Проведён анализ технологических особенностей изготовления судовых трубопроводов. Рассмотрены современные методы повышения технологичности трубопроводов судовых систем при проектировании, изготовлении и монтаже. В рамках гипотезы о взаимосвязи конфигурации и компенсационных возможностей проектной трассировки трубопроводов изложена идея об использовании прямых труб для перемещений трассы трубопровода с целью компенсации погрешностей изготовления труб и монтажа жёстко фиксированных соединений оборудования, изделий насыщения и т.п., что обеспечивает собираемость трассы без изменения конфигурации готовых труб. Определены задачи диссертационного исследования. Авторы предложили возможность замены забойных труб на поставляемые трубы, что способствует сокращению сроков постройки судов.

**Ключевые слова:** Область достижимости сборки, изготовление, проектирование, монтаж, трубопроводы, трассировка, забойная труба, пригоняемая труба, технологический припуск, допускаемое смещение.

## ANALYSIS OF CAPABILITY TO ASSEMBLE THE SHIP PIPELINES BY WAY OF IMPLEMENTATION OF STRAIGHT PIPES, MANUFACTURED WITH ADMISSIBLE OFFSET OF JOINTS

**Konstantin N. Sakhno**

Dr.Sci.Tech, Associate Professor,  
Professor, Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: k.sakhno@mail.ru

**Man Tat Do**

Postgraduate Student, Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: dotatmanh@gmail.com

**Rasul V. Guseynov**

Dr.Sci.Tech, Professor, Professor of the Department of "Organization and Traffic Safety"  
Dagestan State Technical University  
367015, Republic of Dagestan, Makhachkala, pr. Imam Shamil, 70A  
e-mail: imtet@astu.org

**Vladimir M. Tsaloev**

Senior Lecturer of the Department of Ship Electrical Equipment  
Sevastopol State University  
299053, Sevastopol, Universitetskaya, 33  
e-mail: 1.\_@mail.ru

**Vladimir P. Bulgakov**

Dr.Sci.Tech, professor  
Professor, Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
e-mail: imtet@astu.org

**Abstract**

In this paper, the problem of improving the processability of pipelines of ship systems at the design and installation stage has been reviewed, ensuring the possibility of assembling pipes without dimensioning in situ and solving it within the framework of studies on the relationship between configuration and compensation capabilities of pipeline routes. The analysis of the technological features for manufacturing ship pipelines has been performed. The modern methods of improving the manufacturability of pipelines of ship systems in the design, manufacture and installation were reviewed. As part of the hypothesis about the relationship of the configuration and the compensatory capabilities of the design pipeline routing the idea of using straight pipes to move the pipeline route in order to compensate for errors in the manufacture of pipes and installation of rigidly fixed connections of equipment, outfitting, etc., which ensures the assembly of the route without changing the configuration of the finished pipes. The tasks for the dissertation research have been determined. The authors proposed the possibility of replacing the inserting pipes with the supplied pipes, which helps to reduce the time required for the construction of ships.

**Keywords:** Attainability set for assembly, manufacturing, design, installation, piping, tracing, inserting pipe, fitted pipe, technological allowance, allowable offset.

**Введение**

В процессе изготовления трасс трубопроводов, с помощью станда (СГТ-160, СГТ-160М, плоский станд) можно изготовить прямые трубы с допусковым смещением соединений (труба ИДСС). По этому принципу, плоскость начального соединения и плоскость конечного соединения трубы всегда параллельны друг другу, но могут быть не перпендикулярны с осью трубы (рис. 1). Угловое отклонение от неперпендикулярности находится в пределах допустимого нормативными документами [1, 2]. Вращения таких труб можно устранять фактические отклонения при монтаже трасс трубопроводов.

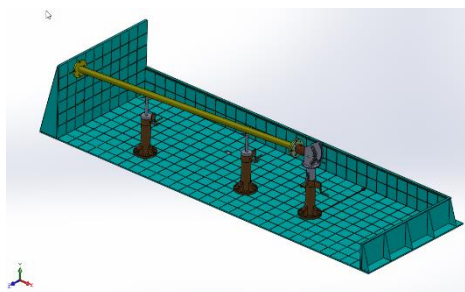


Рис. 1. Труба, изготовленная с допусковым смещением соединений на плоском станде

При этом одно из соединений будет установлено не перпендикулярно к оси трубы. Допускаемая неперпендикулярность регламентируется соответствующими нормативными документами. В отраслевом

стандарте ОСТ 5.95057-90 определены допускаемые величины отклонения фланцев (колец) от перпендикулярности к оси трубы из расчёта на диаметр уплотнительной поверхности (табл. 1).

Таблица 1

Пример таблицы

N/N	Условный проход	Величина отклонения от перпендикулярности, не более, мм
1.	До 100	2,0
2.	От 100 до 200	4,0
3.	От 200 до 400	6,0

Использование свободных фланцев значительно облегчает изготовление и монтаж труб: отпадает необходимость точного соответствия отверстий фланцев отверстиям для крепежных болтов, поскольку свободные фланцы можно повернуть на любой угол. Для данной теории, используем свободный фланец на приварном стальном кольце.

**Анализ возможности сборки трасс путём использования прямых труб, изготовленных с допусковым смещением соединений**

Величина возможного перемещения определяется умножением допустимого угла неперпендикулярности и длины прямой трубы. Как в работе [3, 4], так и в данной работе, превышение

угла неперпендикулярности не укладывают проведение трубопроводных работ, а увеличивают возможности компенсации отклонений как при изготовлении труб так и при их монтаже в трассу трубопровода.

Таким образом контроль неперпендикулярности плоскости соединения к оси трубы теряет смысл. Необходимость в контроле угла неперпендикулярности и допускаемые величины этого угла, переходит в область гидравлики, т. е. в зависимость от скорости потока и свойствам жидкостей перекачиваемых по этому трубопроводу. Есть трубопроводы по которым вовсе не перекачиваются ни какие жидкости и газы, например: воздушно-измеритель системы.

В данной работе не рассматривается возможность увеличить количество основных труб (они уже есть основные) в трассе, а только то как вместо забойной трубы изготавливать пригоняемую.

Технологическое преимущество пригоняемой трубы над забойной то, что в момент готовности судна (объекта монтажа) на монтаж доставляются вместе с основными трубами и заготовка пригоняемой трубы. После монтажа основных труб осуществляется установка соединений на пригоняемую трубу [5, 6]. Это возможно по тому, что операции резки заготовки пригоняемой трубы и её гибка происходит одновременно в одном техкомплексе с основными трубами.

Замена забойной трубы на пригоняемую становится возможным только при условии, что трассу при монтаже основных труб можно перемещать с целью исключить её отклонение от оси второго жёсткого соединения, хотя бы в одном координатном направлении. это необходимо в связи с тем, что припуски для устранения отклонений можно предусмотреть только на концах трубы, а их два. Забойная труба может исключить отклонения в трёх координатных направлениях. Третье направление отклонения жёсткого соединения исключить в процессе гибки забойной трубы. Это замеренное по месту расстояние между двумя погибами. Замер, можно получить только после монтажа основных труб [7 - 9]. Таким образом резку заготовки и гибку забойной трубы придётся производить отдельно от основных труб. Возникнут дополнительные операции изготовления шаблона, макета или проведения замеров с помощью специальных устройств.

Рассмотрим трассу, состоящую из трёх прямых труб 1, 2, 3, ограниченную жёстко фиксированными соединениями I, II (см. рис. 2) (соединение фиксирующих трасс). Взаимное расположение этих соединений отличается от теоретического положения на величины отклонений  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ . По действующим требованиям к технологичности трубопроводов для исключения отклонений в трассе, ограниченной жёстко фиксированными соединениями, требуется забойная труба [1]. В качестве забойной выбирается труба 3 (рис. 2).

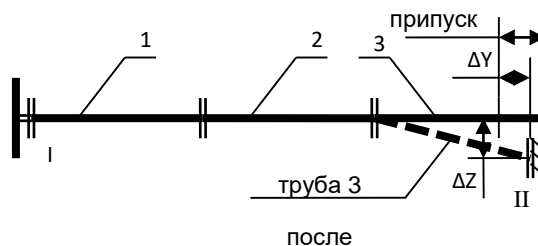


Рис. 2. Исключение отклонений прямой трассы с использованием забойной трубы

Назначив на трубе 3 припуск, обеспечено устраняется отклонение трассы в направлении оси Y. Отклонения  $\Delta X$  и  $\Delta Z$  можно убирать, установив соединения, в процессе пригонки забойной трубы, с перекосом относительно её оси. Допустимый перекос регламентируется соответствующими нормативами [1, 2] и в угловых величинах определяется соотношением:

$$\sin \varphi = \frac{\delta}{d} \quad (1)$$

где  $\delta$  – величина отклонения соединений от перпендикулярности к оси трубы по [1, 2],  $d$  – Диаметр уплотнительной поверхности соединения.

Необходимая для исключения отклонения  $\Delta$  прямой трассы трубопровода длина забойной трубы определяется соотношением:

$$L = \frac{Cm}{\sin \varphi} \quad (2)$$

Необходимая длина прямой забойной трубы, которой можно исключить возникшее отклонение  $\Delta Y=100$  мм путём установки соединений с допустимым перекосом, составит 5,1 м – это не реально. Длина забойной трубы обычно назначается в пределах 1,5–3,5 м, в зависимости от диаметра трубы: чем больше диаметр, тем короче труба. При длине трассы 3,5 м, состоящей из труб диаметром 65 мм, можно исключить отклонение не более:  $Cm = L \cdot \sin \varphi = 46$  мм. Но отклонения взаимного положения центров жёстко фиксированных соединений, ограничивающих трассу, определяются величинами другого порядка и, с учётом рекомендаций по назначению припусков на забойных трубах, составляют 50–100 мм. Таким образом, изготовление в задел труб прямых трасс по действующим технологиям невозможно без нарушения соответствующих нормативных требований [1, 2].

Рассмотрим положение труб и их соединений в трассе, представленной на рис. 2. Первое соединение трубы 1 имеет перекося, что приводит к отклонению трассы. Второе соединение не имеет явного перекося – трасса отклоняется ещё больше. Явный перекося имеется в соединении труб 2 и 3, поэтому дальнейшее отклонение трассы прекращается. В результате, величина отклонения трассы от теоретического положения:  $Cm=A_1+A_2$  (рис. 3).

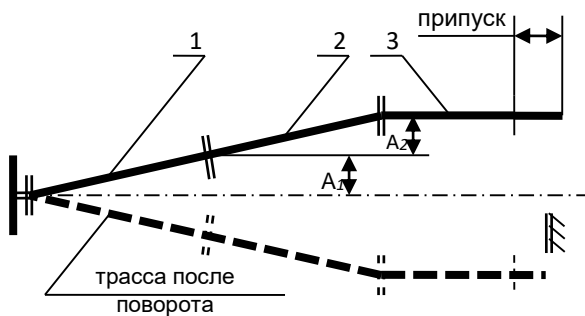


Рис. 3. Влияние точности установки соединений на отклонения трассы трубопровода

Если поворачивать трассу в первом соединении трубы 1, трасса будет менять направление отклонения, но перемещаться только на постоянную величину  $A_1 + A_2$ . Это обусловлено тем, что при повороте трубы 2 величина и направление отклонения трассы не изменяются. Если на обеих трубах 1 и 2 соединения установлены с явным перекосом, но взаимно параллельно, то положение конечного участка трассы может быть возвращено в теоретическое положение поворотом трубы 2 на  $180^\circ$  (рис. 4). Поворачивая трубы 1 и 2 на разные углы, можно перемещать конечный участок трассы на любую величину в пределах  $\pm(A_1 + A_2)$  в любом направлении, перпендикулярном направлению трассы.

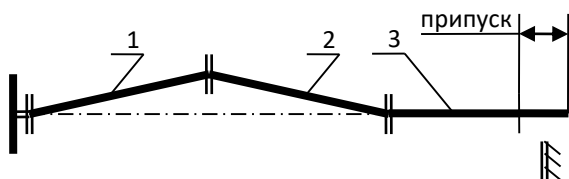


Рис. 4. Исключение отклонений с использованием поворотов прямых труб

Таким образом, перемещение конечной точки трассы при монтаже возможно за счёт смещения  $A$ , образованного допускаемого величиной угла  $\phi$  неперпендикулярности оси трубы к плоскости соединения (рис. 5).

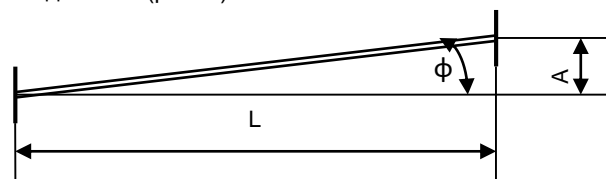


Рис. 5. Труба, изготовленная со смещением соединений

**Моделирование процесса исключения отклонений при использовании прямых труб, изготовленных с допускаемым смещением соединений**

Мы знаем, что область достижимости при установке с перекосом в соединении является сегмент. Это значит, при установке с перекосом в соединении мы в основном можем исключить отклонение при монтаже во всех направлениях (допустим X, Y, Z). Однако, величины исключения в каждом направлении являются малыми. Чтобы увеличить Область достижимости, нам нужно

увеличить количество прямых труб в трассе. Чем больше количества прямых труб, тем больше смещение конечной точки трассы.

Если после установки с перекосом в соединении и поворотов труб ещё не скомпенсированы отклонения в какой-то направлениях, мы используем припуски. То есть из всех труб трассы выбираем трубу, на которой можно назначить припуск в необходимом направлении. И эта труба будет являться пригоняемой. Пригоняемая труба может являться последней трубой в трассе, или промежуточной.

Трасса имеет всего 4 прямые трубы (рис. 6).

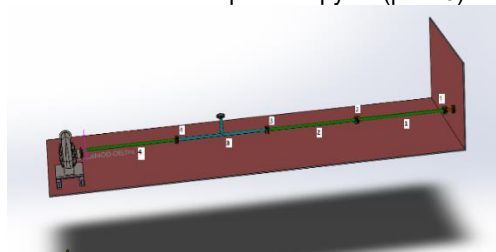


Рис. 6. Теоретическое положение трассы 1

Данная трасса соединяет стакан на переборке с горизонтальным центробежным насосом. При этом, из-за отклонений конечный фланец трассы и фланец насоса не совмещены (рис. 7). В данной трассе имеется четыре прямых труб со сводными фланцами.

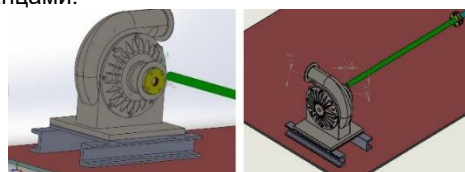
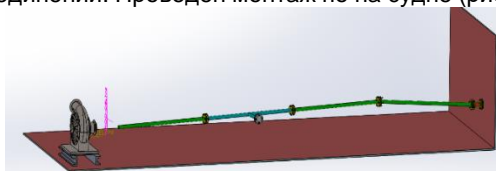
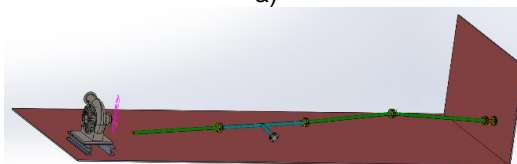


Рис. 7. Фактическое отклонение трассы

После процесса изготовления труб получаются прямые трубы с допускаемым смещением соединений. Проведен монтаж по на судне (рис. 8).



а)



б)

Рис. 8. Поворот труб трассы в соединении 1 и 2: а – Поворот труб трассы в соединении 1; б – Поворот труб трассы в соединении 2.

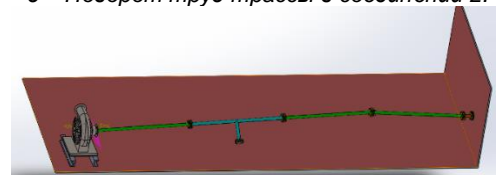


Рис. 9. Проведён успешно монтаж за счёт поворотов прямых труб ИДСС

В рисунке 9 показано процесс установки с перекосом до совмещения положения фланца

насоса. После этого мы вращаем трубу 3 на  $180^\circ$  для сохранения направления отрезка (рис. 10):

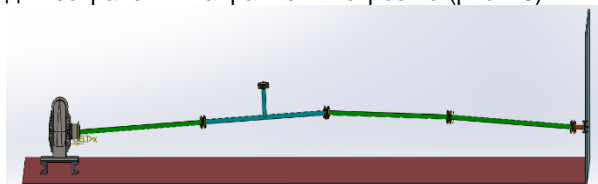


Рис. 10. Поворот труб трассы в соединении 3

В процессе моделирования монтажа трассы трубопровода все отклонения смещения приварных стаканов компенсированы.

#### Закключение

В соответствии с предлагаемым подходом к исключению отклонений трасс трубопроводов с

использованием поворотов прямых труб, соединения устанавливаются не перпендикулярно оси трубы, но взаимно параллельно, что позволяет перемещать трассу, состоящую только из прямых труб, для устранения возможных отклонений жёстко фиксированных соединений на фактически требуемую величину.

В результате, трасса переместится в необходимое для сборки положение при сохранении необходимого направления последнего участка. Области достижимости каждой пары прямых труб – плоские, ограниченные окружностями радиусом, равным сумме смещений пары прямых труб. Для создания объёмной области достижимости используется последовательное сочетание двух плоских областей достижимости сборки.

#### Литература

1. РД 5Р.0005-93. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Требования к проектированию, изготовлению и монтажу труб по эскизам и чертежам с координатами трасс трубопроводов. – СПб. : ЦНИИТС.
2. ОСТ 5.95057-90. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов. Л.: НПО «Ритм».
3. Сахно К.Н. Научные основы повышения технологичности трубопроводов судовых систем на стадии проектирования: дис. ... д-ра техн. наук; специальность: 05.08.04 – технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства/ К. Н. Сахно. Астрахань: АГТУ, 2012. – 353 с.
4. Во Ч.К. Обоснование проектной трассировки трубопроводов судовых систем на основе исследований точности изготовления труб с соединениями: дис. ... канд. техн. наук / Ч. К. Во. – СПб., 2018.
5. Нго Ж.В. Обеспечение собираемости трубопроводов судовых систем на основе анализа их конфигурации: дис. ... канд. техн. наук / Ж. В. Нго. – АГТУ, 2018.
6. До Т.М. Расчетное определение возможностей сборки трасс трубопроводов судовых систем путём использования прямых труб / Т.М. До, К.Н. Сахно, Н.Ж. Вьет // Сборник трудов XXV международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века». - 2018. – Т. 2. - С.307-314.
7. Liu Q. A Pipe Routing Method Considering Vibration for Aero-engine using Kriging Model and NSGA-II / Q. Liu, G. Jiao // IEEE Access, 2018 – Т11 (№3). DOI: [10.1109/ACCESS.2018.2789361](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2789361).
8. Liu Q. Pipe-assembly approach for aero-engines by modified particle swarm optimization / Q. Liu, C. Wang // Assembly Automation, 2010 – Т. 30 (4) – pp. 365 – 377. DOI: [10.1108/01445151011075825](https://doi.org/10.1108/01445151011075825).
9. Murat O. Determination of the Effects of the Pre-Outfitting and Pre-Piping Assembly Operations on Shipyard Productivity / O. Murat, I. H. Hakki // Polish maritime research. — 2013. — Vol. 20 (77). — Pp. 59–69.

#### References

1. Russian Federation. RD 5P.0005-93. Sistemy sydovye i sistemy sydovyh ehneppetisheckih ystanovok. Trebovaniya k ppoektirovaniyu, izgotovleniyu i montazhy tryb po ehskizam i cheptezham s koopdinatami tpass tryboprovodov. SPb. : TSNIITS.
2. Russian Federation. OST 5.95057-90. Sistemy sudovyye i sistemy sudovykh energeticheskikh usta-novok. Tipovoy tekhnologicheskyy protsess izgotovleniya i montazha truboprovodov. RTP NPO «Ritm».
3. Sakhno, K.N. Nauchnye osnovy povysheniya tekhnologichnosti truboprovodov sudovykh sistem na stadii proektirovaniya: Dr. diss. Astrakhan': AGTU, 2012.
4. Ch.K. Vo. Obosnovanie ppoektnoy tpassipovki tryboprovodov sydovykh sistem na osnove issledovaniy toshnosti izgotovleniya tryb s soedineniyamis: Can. diss. SPb, 2018.
5. Viet Ng. G. Obespechenie sobipaemosti tryboprovodov sydovykh sictem na osnove analiza ikh konfigypatsii: Can. diss. Astrakhan': AGTU, 2018.
6. Do T. M. Sakhno, K.N. and Viet N. Zh. "Raschetnoe opredelenie vozmozhnostey sborki trass truboprovodov sudovykh sistem putYom ispolzovaniya pryamykh trub". Sbornik trudov XXV mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Mashinostroenie i tehnosfera XXI veka», - Donetsk: Donetskyy natsionalnyy tehnicheskyy universitet, 2018.- T 2- S.307-314. ISSN 2079-2670.
7. Liu Q. A Pipe Routing Method Considering Vibration for Aero-engine using Kriging Model and NSGA-II / Q. Liu, G. Jiao // IEEE Access, 2018 – Т11 (№3). DOI: [10.1109/ACCESS.2018.2789361](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2789361).
8. Liu Q. Pipe-assembly approach for aero-engines by modified particle swarm optimization / Q. Liu, C. Wang // Assembly Automation, 2010 – Т. 30 (4) – pp. 365 – 377. DOI: [10.1108/01445151011075825](https://doi.org/10.1108/01445151011075825).
9. Murat O. Determination of the Effects of the Pre-Outfitting and Pre-Piping Assembly Operations on Shipyard Productivity / O. Murat, I. H. Hakki // Polish maritime research. — 2013. — Vol. 20 (77). — Pp. 59–69.

УДК 629.026:629.561.5

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК В ОПРЕДЕЛЕНИИ РИСКА ОТКАЗА ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЛЕДОКОЛОВ

**Алена Александровна Темникова**

старший преподаватель кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: awe\_12@mail.ru

**Анатолий Рашидович Рубан**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Владимир Григорьевич Букин**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика и холодильные машины»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: imtet@astu.org

**Герман Александрович Тактаров**

доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Финансы и учет»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: finans@astu.org

**Олег Петрович Ковалев**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Технологии продуктов питания и товароведения»  
Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт  
141821, Московская область, Дмитровский р-н, пос. Рыбное, 36  
e-mail: drti\_agtu@mail.ru

### Аннотация

Определение функциональной надежности элементов энергетического комплекса играет важную роль на этапе проектирования СЭК, и риск отказов этих элементов влияет на комплектацию и компоновку комплекса в целом. К настоящему моменту преимущественно рассматривалось влияние элементов систем или двигателя на работоспособность СЭУ и при этом не оценивался риск отказа укрупненных элементов судового энергетического комплекса (двигателя, механической и электрической передач, двигателя и генератора). При проектировании СЭК необходимо учитывать конкретные условия плавания и накопленный опыт эксплуатационников, что особенно актуально для судов с переменным режимом работы силовой установки таких, как ледоколы.

В статье определены риски отказа элементов СЭК ледоколов с помощью методов экспертных оценок и теории рисков. В ходе исследования составлены анкеты экспертной оценки, проведено анкетирование и собраны экспертные данные, обработаны результаты анкетирования и произведен расчет вероятности отказов элементов СЭК, построена матрица рисков и выявлены наиболее опасных элементов СЭК.

**Ключевые слова:** экспертная оценка, риски, отказы, судовой энергетический комплекс, ледокол.

## THE USE OF EXPERT ASSESSMENTS IN DETERMINING THE RISK OF FAILURE OF ICEBREAKERS' MARINE POWER COMPLEX COMPONENTS

**Alena A. Temnikova**

Senior Lecturer, Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: awe\_12@mail.ru

**Anatoly R. Ruban**

PhD in Engineering Science, Associate Professor  
Head of the Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Vladimir G. Bukin**

Dr.Sci.Tech, Professor of the Department of "Heat Power Engineering and Refrigerating Machines"

Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: imtet@astu.org

**German A. Taktarov**

Dr.Sci.(Economics), Professor, Professor of the Department of "Finance and Accounting"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: finans@astu.org

**Oleg P. Kovalev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Head of the Department  
"Food and Merchandising Technology"  
Dmitrovsky Fisheries Technological Institute  
141821, Moscow region, Dmitrovsky district, vil. Ribnoye, 36  
e-mail: drti\_agtu@mail.ru

### Abstract

Determination of functional reliability of the power complex components plays an important role at the marine power complexes design stage, and the risk of failures of these components affects the equipment and arrangement of the complex as a whole. To this date, the influence of systems or engine components on the efficiency of a power plant has been considered predominantly and the risk of failure of preassembled elements of marine power complex (propulsion, mechanical and electrical gear, engine and generator) has not been evaluated. When designing a marine power complex, it is necessary to take into account the specific navigation conditions and accumulated experience of the operators, which is especially important for vessels with a variable mode of operation of a power plant, such as icebreakers.

The article identifies the risks of failure of icebreakers marine power complex components using the methods of expert assessments and a risk theory. In the course of the study, expert assessment questionnaires were compiled, questionnaires were carried out and expert data were collected, questionnaire results were processed and the probability of failure of a marine power complex components was calculated, a risk matrix was built and the most risky marine power complex components were identified.

**Keywords:** expert assessment, risks, failures, marine power complex, icebreaker.

### Введение

Повышение надежности судового энергетического комплекса (СЭК) является одним из перспективных направлений исследования с точки зрения обеспечения эффективности, экономичности и экологической безопасности судна. Уровень безопасности эксплуатации СЭК связан с оценкой последствий принимаемых решений, поэтому одним из важнейших компонентов проектирования СЭК является оценка безопасности. Надежность СЭК влияет не только на безопасность мореплавания и эксплуатации судна, но и в значительной мере определяет продолжительность простоев судна, стоимость и трудоемкость его ремонтов и технического обслуживания.

Вопрос оценки функциональной надежности судовой энергетической установки был широко изучен Вычужвинным В.В. и Рудниченко Н.Д. [2], Гавриловым В.В. [3], Медведевым В.В. [6] и Чебановым В.С. [10]. В работе [7] Никитиным А.М. на основе анализа рисков разработан упрощенный алгоритм построения системы управления

отказами главного двигателя в процессе технической эксплуатации. В работе [8] Семионичев Д.С. приводит структуру формализованной оценки безопасности – рис. 1.

Изучением способов повышения эффективности СЭК занимался также Шарик В.В., в работе [11] он провел оценку функциональной надежности на основе результатов экспертно-статистических исследований и ранговой корреляции. В указанных работах рассматривается влияние элементов систем или двигателя на работоспособность СЭУ и при этом не оценивается риск отказа укрупненных элементов судового энергетического комплекса (двигателя, механической и электрической передач, двигателя и генератора).

Эффективность и надежность СЭУ рассматривали Башуров Б.П. и Скиба А.П. [1] с применением системного подхода, а риски эксплуатации оценивали Гаршин М.Ю., Горбачев В.А. и Гоманцов А.А. [4]. Но при этом не учитывались конкретные условия плавания и накопленный опыт эксплуатационников.

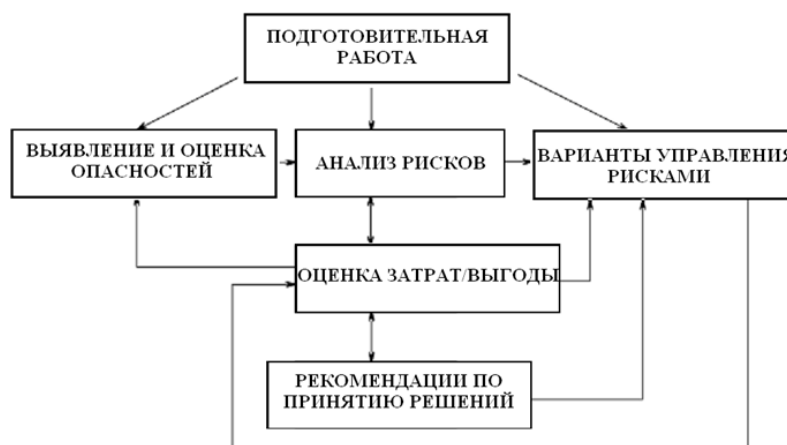


Рис. 1. Структура формализованной оценки безопасности

**Постановка цели и задач исследования**

Определение функциональной надежности элементов энергетического комплекса играет важную роль на этапе проектирования СЭК, и риск отказов этих элементов влияет на комплектацию и компоновку комплекса в целом. Этот вопрос особенно актуален для судов с переменным режимом работы силовой установки таких, как ледоколы.

Таким образом, ставится цель исследования - определение риска отказа элементов СЭК ледоколов с помощью методов экспертных оценок и теории рисков. Задачами исследования являются составление анкеты экспертной оценки, проведения анкетирования и сбор экспертных данных, обработка результатов анкетирования и расчет вероятности отказов элементов СЭК, построение матрицы рисков и выявление наиболее опасных элементов СЭК.

**Основная часть**

Управленческие решения по выбору комплектации СЭК должны быть направлены на уменьшение величины риска возникающих отказов его элементов. Поскольку риск измеряется, в том числе, величиной последствий, целесообразно ввести несколько категорий последствий такие, как простой судна, денежные затраты и трудоемкость ремонта того или иного элемента СЭК.

Надежность системы А характеризуется безотказной работой, которую можно оценить риском возникновения отказа системы R:

$$R = \prod_{i=1}^N R_i;$$

$$A = 1 - R = 1 - \prod_{i=1}^N R_i;$$

где  $R_i = P_i \times C_i$  – риск отказа i-го элемента системы;

$P_i$  – вероятность отказа i-го элемента системы;

$C_i$  – уровень последствий (простой судна, денежные затраты, трудоемкость ремонта) отказа i-го элемента системы.

Таким образом, на первых этапах формализованной оценки рисков в рамках подготовительной работы, выявления и оценки опасностей составляется анкета для проведения индивидуального экспертного опроса среди компетентных специалистов. Бланк анкеты представлен на рис. 2.

По результатам собранных экспертных данных рассчитываются обобщенные показатели:

$$Q_{m\text{ ср}} = \frac{\sum_{j=1}^N Q_j}{N};$$

где  $N = 33$  чел. - количество экспертов;

$Q_{m\text{ ср}}$  – оценка m-го показателя в баллах, поставленная j-м экспертом.

При этом необходимо проверить согласованность экспертов, чтобы снизить влияние недостаточной компетенции эксперта в том или ином вопросе.



**АНКЕТА**

**по оценке функциональной надежности элементов судового энергетического комплекса (СЭК) ледоколов для Северного Каспия и ВКМСК**

НЕОБХОДИМО ЗАПОЛНИТЬ ТАБЛИЦЫ, ИСПОЛЬЗУЯ ПРИНЦИП РАНЖИРОВАНИЯ ОТ 1 ДО 5.

**1. Какова вероятность, что между ТО элемент СЭК выйдет из строя, если рассматривается электродвижение судна? (при этом 1 – низкая вероятность, 5 – высокая вероятность)**

1.1 Двигатели:

винто-рулевая колонка	
винт фиксированного шага открытого типа	
винт фиксированного шага в насадке	
винт регулируемого шага открытого типа	
винт регулируемого шага в насадке	

1.2 Элементы передачи:

редукторная передача	
элементы валопровода (валы, подшипники, сальники и т.д.)	
элементы электрической передачи (ГРЩ, кабели, преобразователи, регуляторы и т.д.)	

1.3 Гребной электродвигатель:

постоянного тока	
переменного тока	

1.4 Дизель-генератор, поставляемый в виде агрегата сопоставимой комплектации:

отечественного производства, включая страны СНГ	
зарубежного производства	

**2. Какова степень тяжести последствий выхода из строя элемента СЭК? (при этом 1 – незначительные последствия, 5 – максимальная тяжесть последствий с точки зрения простоя судна, денежных затрат, трудоемкости ремонта элемента, вышедшего из строя)\***

2.1 Двигатели:

	простой судна	денежные затраты	трудоемкость ремонта
винто-рулевая колонка			
винт фиксированного шага открытого типа			
винт фиксированного шага в насадке			
винт регулируемого шага открытого типа			
винт регулируемого шага в насадке			

2.2 Элементы передачи:

	простой судна	денежные затраты	трудоемкость ремонта
редукторная передача			
элементы валопровода (валы, подшипники, сальники и т.д.)			
элементы электрической передачи (ГРЩ, кабели, преобразователи, регуляторы и т.д.)			

2.3 Гребной электродвигатель:

	простой судна	денежные затраты	трудоемкость ремонта
постоянного тока			
переменного тока			

2.4 Дизель-генератор, поставляемый в виде агрегата сопоставимой комплектации:

	простой судна	денежные затраты	трудоемкость ремонта
отечественного производства, включая страны СНГ			
зарубежного производства			

Эксперт: \_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

Подпись

\_\_\_\_\_

Место работы, должность

\_\_\_\_\_

Дата

Примечание: \* - заполняя таблицы, задавайтесь вопросами:

- 1) приведет ли к простоям судна поломка элемента?
  - если «нет», то ставится 1;
  - если «да», то балл ставится в зависимости от продолжительности простоя;
- 2) к каким денежным затратам приведет поломка элемента?
  - если к незначительным или денежные затраты не потребуются, то ставится 1;
  - если на ремонт или замену элемента потребуется значительная сумма, сопоставимая с четвертью стоимости всего энергетического комплекса, то ставится 5;
- 3) какова будет трудоемкость ремонта при поломке элемента?
  - если элемент не подлежит ремонту и необходима замена, то ставится 1;
  - баллы от 2 до 5 ставятся в зависимости от продолжительности и сложности ремонта.

Рис. 2. Бланк анкеты

Проверка согласованности согласно [5] проводится с помощью:

1) коэффициента вариации:

$$\delta_m = \sigma_m / Q_{m\text{cp}}$$

где  $\sigma_m = \sqrt{\sum_{j=1}^N (Q_{mj} - Q_{m\text{cp}})^2 / (N - 1)}$  -

среднеквадратическое отклонение;

2) правила трех сигм:

$$|Q_{mj} - Q_{m\text{cp}}| \leq 3 \times \sigma_m.$$

Эмпирически согласованность экспертных оценок считается: высокой, если  $\delta_m \leq 0,1$ ; выше средней, если  $0,1 < \delta_m \leq 0,2$ ; средней, если  $0,2 < \delta_m \leq 0,3$ ; ниже средней, если  $0,3 < \delta_m \leq 0,5$ ; низкой, если  $\delta_m > 0,5$ . При выбранной шкале баллов (от 1 до 5) достаточно добиться средней согласованности экспертов.

По подавляющему большинству показателей наблюдается недостаточная согласованность экспертов. Для повышения согласованности следует:

- исключить анкеты с дублирующимися данными;
- исключить данные экспертов с максимальными отклонениями от средних значений показателей с целью снизить влияние недостаточной компетенции эксперта в том или ином вопросе.

Результаты обработки экспертных данных с учетом согласованности представлены в таблице 1. На основании экспертной оценки принимаются вероятности отказа  $P$  и уровни последствий  $C$  для каждого элемента СЭК – таблица 2.

Таблица 1

Результаты обработки экспертных данных с учетом согласованности

№ по анкете	Наименование	среднее значение $Q_{\text{нпр}}$	средне-квадратическое отклонение $\sigma_m$	коэффициент вариации $\delta_m$	согласованность экспертов	Отклонение средней от максимального значения $Q_{m \text{ max}} - Q_{\text{нпр}}$	Отклонение средней от минимального значения $Q_{m \text{ min}} - Q_{\text{нпр}}$	$3 \times \sigma_m$	
1.1	<b>Двигатели</b>								
	винто-рулевая колонка	1,70	0,48	0,28	средняя	0,30	-0,70	1,45	
	ВФШ открытого типа	2,45	0,51	0,21	средняя	0,55	-0,45	1,53	
	ВФШ в насадке	2,60	0,50	0,19	выше средней	0,40	-0,60	1,51	
	ВРШ открытого типа	2,87	0,76	0,26	средняя	1,13	-0,87	2,27	
	ВРШ в насадке	3,00	0,71	0,24	средняя	1,00	-1,00	2,12	
1.2	<b>Элемент передачи</b>								
	редукторная передача	1,67	0,50	0,30	средняя	0,33	-0,67	1,50	
	элементы валопровода	3,08	0,83	0,27	средняя	0,92	-1,08	2,49	
	элементы электрической передачи	1,10	0,32	0,29	средняя	0,90	-0,10	0,95	
1.3	<b>Гребной электродвигатель</b>								
	постоянного тока	1,67	0,48	0,29	средняя	0,33	-0,67	1,45	
	переменного тока	1,10	0,32	0,29	средняя	0,90	-0,10	0,95	
1.4	<b>Дизель-генератор</b>								
	отечественного производства	3,00	0,74	0,25	средняя	1,00	-1,00	2,22	
	зарубежного производства	1,10	0,32	0,29	средняя	0,90	-0,10	0,95	
2.1	<b>Двигатели (простой судна)</b>								
	винто-рулевая колонка	1,64	0,50	0,30	средняя	0,36	-0,64	1,49	
	ВФШ открытого типа	2,53	0,51	0,20	выше средней	0,47	-0,53	1,54	
	ВФШ в насадке	3,00	0,85	0,28	средняя	1,00	-1,00	2,55	
	ВРШ открытого типа	3,43	1,00	0,29	средняя	1,57	-1,43	2,99	
		ВРШ в насадке	3,13	0,92	0,29	средняя	0,87	-1,13	2,76
		<b>Двигатели (денежные затраты)</b>							
	винто-рулевая колонка	3,96	0,82	0,21	средняя	1,04	-0,96	2,47	
	ВФШ открытого типа	2,43	0,51	0,21	средняя	0,57	-0,43	1,52	
	ВФШ в насадке	2,93	0,73	0,25	средняя	1,07	-0,93	2,19	
	ВРШ открытого типа	3,33	0,88	0,26	средняя	1,67	-1,33	2,63	
		ВРШ в насадке	3,20	0,82	0,26	средняя	0,80	-1,20	2,45
		<b>Двигатели (трудоемкость ремонта)</b>							
	винто-рулевая колонка	3,83	0,76	0,20	выше средней	1,17	-1,83	2,28	
	ВФШ открытого типа	2,53	0,70	0,28	средняя	0,47	-1,53	2,09	
	ВФШ в насадке	3,04	0,81	0,27	средняя	0,96	-1,04	2,42	
	ВРШ открытого типа	3,63	1,00	0,28	средняя	1,37	-2,63	3,00	
	ВРШ в насадке	3,78	0,93	0,25	средняя	1,22	-1,78	2,80	
2.2	<b>Элемент передачи (простой судна)</b>								
	редукторная передача	1,09	0,30	0,28	средняя	0,91	-0,09	0,91	
	элементы валопровода	2,92	0,83	0,28	средняя	1,08	-0,92	2,49	
	элементы электрической передачи	2,48	0,51	0,21	средняя	0,52	-0,48	1,54	
		<b>Элемент передачи (денежные затраты)</b>							
	редукторная передача	3,10	0,70	0,23	средняя	0,90	-1,10	2,10	
	элементы валопровода	3,32	0,90	0,27	средняя	1,68	-1,32	2,71	
	элементы электрической передачи	2,39	0,50	0,21	средняя	0,61	-0,39	1,50	
		<b>Элемент передачи (трудоемкость ремонта)</b>							
	редукторная передача	3,19	0,68	0,21	средняя	0,81	-1,19	2,04	
	элементы валопровода	3,21	0,88	0,27	средняя	1,79	-1,21	2,63	
	элементы электрической передачи	2,45	0,51	0,21	средняя	0,55	-0,45	1,53	

Продолжение таблицы 1

2.3	Гребной электродвигатель (простой судна)							
	постоянного тока	2,41	0,51	0,21	средняя	0,59	-0,41	1,52
	переменного тока	2,76	0,78	0,28	средняя	1,24	-0,76	2,34
	Гребной электродвигатель (денежные затраты)							
	постоянного тока	2,96	0,82	0,28	средняя	1,04	-0,96	2,47
	переменного тока	2,92	0,72	0,25	средняя	1,08	-0,92	2,15
2.4	Гребной электродвигатель (трудоемкость ремонта)							
	постоянного тока	2,80	0,71	0,25	средняя	1,20	-0,80	2,12
	переменного тока	2,96	0,69	0,23	средняя	1,04	-0,96	2,07
	Дизель-генератор (простой судна)							
	отечественного производства	2,65	0,69	0,26	средняя	1,35	-0,65	2,07
	зарубежного производства	2,19	0,40	0,18	выше средней	0,81	-0,19	1,21
	Дизель-генератор (денежные затраты)							
	отечественного производства	2,75	0,75	0,27	средняя	1,25	-1,75	2,25
	зарубежного производства	4,27	0,83	0,19	выше средней	0,73	-1,27	2,48
	Дизель-генератор (трудоемкость ремонта)							
отечественного производства	3,17	0,95	0,30	средняя	1,83	-2,17	2,85	
зарубежного производства	3,64	0,99	0,27	средняя	1,36	-1,64	2,97	

Таблица 2

Вероятности отказа и уровни последствий для каждого элемента СЭК

№	Элемент СЭК	Вероятность отказа, Р	Уровень последствий, С			
			простой судна	денежные затраты	трудоемкость ремонта	средний уровень последствий
Двигатель:						
1	винто-рулевая колонка	0,34	0,33	0,79	0,77	0,63
2	винт фиксированного шага открытого типа	0,49	0,51	0,49	0,51	0,50
3	винт фиксированного шага в насадке	0,52	0,60	0,59	0,61	0,60
4	винт регулируемого шага открытого типа	0,57	0,69	0,67	0,73	0,69
5	винт регулируемого шага в насадке	0,60	0,63	0,64	0,76	0,67
Элемент передачи:						
6	редукторная передача	0,33	0,22	0,62	0,64	0,49
7	элементы валопровода (валы, подшипники, сальники и т.д.)	0,62	0,58	0,66	0,64	0,63
8	элементы электрической передачи (ГРЩ, кабели, преобразователи, регуляторы и т.д.)	0,22	0,50	0,48	0,49	0,49
Гребной электродвигатель:						
9	гребной электродвигатель постоянного тока	0,33	0,48	0,59	0,56	0,54
10	гребной электродвигатель переменного тока	0,22	0,55	0,58	0,59	0,58
Дизель-генератор:						
11	дизель-генератор отечественного производства, включая страны СНГ	0,60	0,53	0,55	0,63	0,57
12	дизель-генератор зарубежного производства	0,22	0,44	0,85	0,73	0,67

**Обсуждение результатов**

Из таблицы 2 можно сделать следующие выводы:

- 1) винто-рулевые в сравнении с остальными движителями являются более надежными, но при отказе приведут к значительным денежным затратам;
- 2) элементы валопровода подвержены большему риску, чем остальные виды передачи мощности, хотя уровень последствий отказа находится примерно на уровне отказов редукторной и электрической передач;

- 3) вероятность отказа гребных электродвигателей с постоянным и переменным током не очень высока, а уровень последствий равнозначен;
- 4) вероятность отказа дизель-генератора отечественного производства в разы выше вероятности отказа дизель-генераторов зарубежного производства, при этом денежные затраты на ремонт последних значительно выше.

Чтобы учесть уровень последствий на вероятность отказа того или иного элемента в системе, для рассматриваемых категорий (движители, элементы передач, гребные электродвигатели, дизель-генераторы) строится матрица риска по методике, изложенной в [9] – рис. 3.

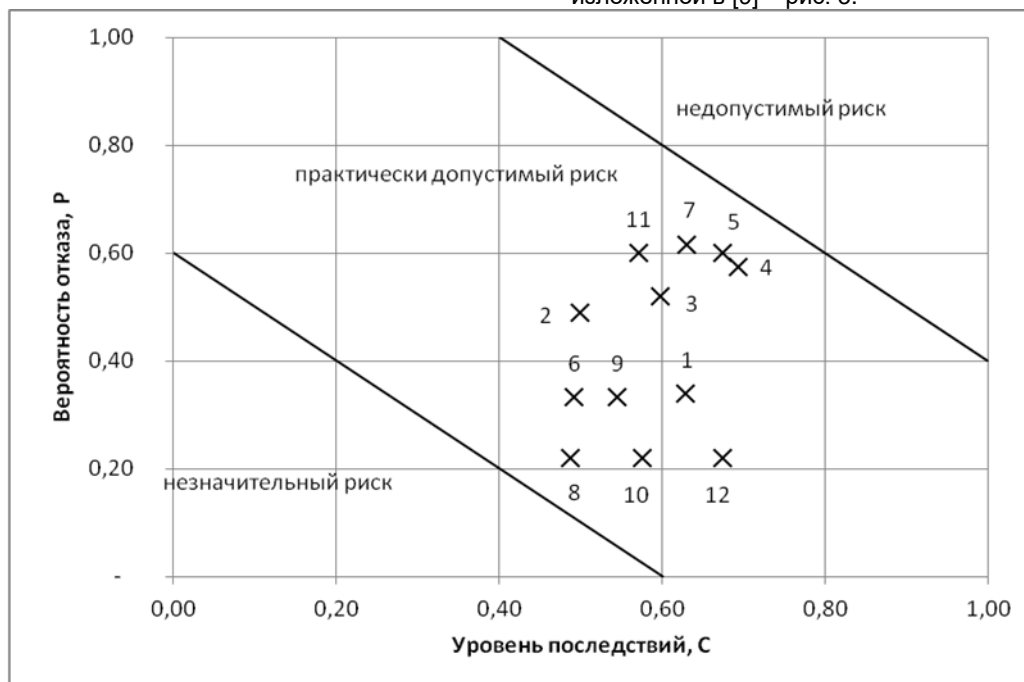


Рис. 3. Матрица риска отказа элементов СЭК по среднему уровню последствий

Из рисунка видно, что все элементы СЭК находятся в зоне практически допустимого риска. При этом ближе всех к границе с зоной недопустимого риска находятся ВРШ в насадке и открытого типа, а также элементы валопровода. Ближе всего к зоне незначительного риска элементы электрической передачи.

Результаты оценки риска отказов элементов СЭК показали, что применительно к дизель-электрическим ледоколам большую угрозу функциональной надежности СЭК несет не двигатель или обслуживающие его системы, на которые ранее делался упор, а движители и элементы валопровода. Именно этим элементам СЭК следует уделить особое внимание при проектировании и комплектации судового энергетического комплекса.

**Заключение**

В работе определены риски отказа различных элементов СЭК ледоколов с помощью методов экспертных оценок и теории рисков. В предыдущих исследованиях делался упор на отказе деталей двигателя или элементов систем, обслуживающих энергетическую установку, в данной же работе

рассмотрены риски отказа укрупненных элементов СЭК таких, как различные движители, элементы механических и электрических передач, гребные электродвигатели и дизель-генераторы.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

- 5) все элементы СЭК находятся в области практически допустимого риска, и нет необходимости принимать кардинальные меры такие, как исключение какого-либо элемента из комплекса;
- 6) применительно к дизель-электрическим ледоколам большую угрозу функциональной надежности СЭК несут движители и элементы валопровода, и следует уделять больше внимания выбору этих элементов при проектировании энергетического комплекса.

В целом исследование дало понимание, что при оценке надежности системы к вопросу следует подходить комплексно, учитывая все переменные составляющие. Область дальнейшего исследования связана с анализом различных комплектаций судовых энергетических комплексов в области функциональной надежности с целью определения оптимального набора элементов.

## Литература

1. Башуров Б.П., Скиба А.Н., Шарик В.В. Функциональная надежность судовых энергетических установок с позиций системного подхода и концепции «жизненного цикла» // Судостроение. – 2015. – №6 (823). – С. 25-28.
2. Вычужанин В.В., Рудниченко Н.Д. Метод оценок структурных рисков проектируемых и эксплуатируемых судовых энергетических установок // Речной транспорт (XXI век). – 2014. – №5 (70). – С. 55-57.
3. Гаврилов В.В., Семионичев Д.С. Определение приемлемости риска при формализованной оценке безопасности судовых энергетических установок // Журнал университета водных коммуникаций. – 2012. – №3. – С. 150-154.
4. Гаршин М.Ю., Горбачев В.А., Гоманцов А.А. Технологический модуль прогнозирования потенциальных рисков судовых энергетических комплексов // Морская радиоэлектроника. – 2018. – № 2(64). – С. 30-32.
5. Кириллов В.И. Квалиметрия и системный анализ: учеб. пособие / В.И. Кириллов. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. – 440 с.
6. Медведев В.В. Методы обеспечения надежности и безопасности судовых энергетических установок на основе имитационного моделирования: дис. ... док. тех. наук. СПб., 2011. – 540 с.
7. Никитин А.М. Совершенствование технического обслуживания и ремонта судовых энергетических установок на основе анализа рисков: дис. ... док. тех. наук. СПб., 2007. – 381 с.
8. Семионичев Д.С. Управление техническим состоянием судовой энергетической установки на основе метода формализованной оценки безопасности: дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2010. – 226 с.
9. Тюкова А.А., Гасанов К.Г., Пичугин Д.А. Применение теории рисков при проектировании ледоразрушающих судов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2013. – №1. – С. 61-70.
10. Чебанов В.С. Повышение эффективности эксплуатации комплекса главный двигатель – обслуживающие системы судовой дизельной установки на основе оценивания и прогнозирования функциональной надежности его элементов с использованием информационных технологий: дис. ... канд. тех. наук. Новороссийск., 2012. – 254 с.
11. Шарик В.В. Повышение эффективности эксплуатации судового энергетического комплекса на основе оценивания функциональной надежности его элементов и перевода на техническое обслуживание по фактическому состоянию: дис. ... канд. тех. наук. Новороссийск, 2005. – 139 с.

## References

1. Bashurov B.P., Skiba A.N., Sharik V.V. Funktsionalnaya nadezhnost sudovykh ehnergeticheskikh ustanovok s pozitsiy sistemnogo podkhoda i kontseptsii «zhiznennogo tsikla» / Sudostroenie. 2015. Vol. 6 (823). pp. 25-28.
2. Vychuzhanin V.V., Rudnichenko N.D. Metod otsenok strukturnykh riskov proektiruemykh i ehkspluatiruemykh sudovykh ehnergeticheskikh ustanovok/ Rechnoy transport (XXI vek). 2014. Vol. 5 (70). pp. 55-57.
3. Gavrilov V.V., Semionichev D.S. Opredelenie priemlemosti riska pri formalizovannoy otsenke bezopasnosti sudovykh ehnergeticheskikh ustanovok Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy. 2012. Vol.3. pp. 150-154.
4. Garshin M.YU., Gorbachev V.A., Gomantsov A.A. Tekhnologicheskii modul' prognozirovaniya potentsial'nykh riskov sudovykh ehnergeticheskikh kompleksov Morskaya radioehlektronika. 2018. Vol. 2(64). pp. 30-32.
5. Kirillov V.I. Kvalimetriya i sistemnyy analiz: ucheb. posobie . Minsk: Novoe znanie; M.: INFRA-M, 2011. 440 p.
6. Medvedev V.V. Metody obespecheniya nadezhnosti i bezopasnosti sudovykh ehnergeticheskikh ustanovok na osnove imitatsionnogo modelirovaniya: dis. dok. tekh. nauk. SPb., 2011. 540 p.
7. Nikitin A.M. Sovershenstvovanie tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sudovykh ehnergeticheskikh ustanovok na osnove analiza riskov: dis. ... dok. tekh. nauk. SPb., 2007. 381 p.
8. Semionichev D.S. Upravlenie tekhnicheskim sostoyaniem sudovoy ehnergeticheskoy ustanovki na osnove metoda formalizovannoy otsenki bezopasnosti: dis. ... kand. tekh. nauk. SPb., 2010. 226 p.
9. Tyukova A.A., Gasanov K.G., Pichugin D.A. Primenenie teorii riskov pri proektirovanii ledorazrushayushchikh sudov / Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2013. Vol. 1. pp. 61-70.
10. Chebanov V.S. Povyshenie ehffektivnosti ehkspluatatsii kompleksa glavnyy dvigatel' – obsluzhivayushchie sistemy sudovoy dizel'noy ustanovki na osnove otsenivaniya i prognozirovaniya funktsional'noy nadezhnosti ego ehlementov s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologiy: dis. ... kand. tekh. nauk. Novorossiysk., 2012. 254 p.
11. Sharik V.V. Povyshenie ehffektivnosti ehkspluatatsii sudovogo ehnergeticheskogo kompleksa na osnove otsenivaniya funktsional'noy nadezhnosti ego ehlementov i peregoda na tekhnicheskoe obsluzhivanie po fakticheskomu sostoyaniyu: dis. ... kand. tekh. nauk. Novorosiysk, 2005. 139 p.

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

УДК 62-531.4; 629.5.03; 621.822.1; 621.824.2; 62-233.21; 62-233.12; 62-233.147

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ЦЕНТРОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ СКОЛЬЖЕНИЯ СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДОВ**

**Эльдар Муслимович Мамбетов**

аспирант кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

E-mail: eldar.mambetov.92@mail.ru

**Аршавир Петрович Перекрестов**

кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Механика и инженерная графика»

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

E-mail: pap1943@rambler.ru

#### **Аннотация**

В работе рассматриваются проблемы центровки и надежности подшипниковых узлов скольжения судовых валопроводов. При динамической центровке вращающегося вала происходит его подъем, и ось вала перемещается по некоторой сложной кривой. Причем ось вала в конечном положении не совпадает с центром симметрии корпуса подшипника скольжения. При применении одноименных магнитных полей ось вала занимает положение ближе к геометрической оси симметрии. Авторами предложен перспективный способ центровки судовых валопроводов, основанный на применении мощного постоянного магнитного поля. Представлена совершенно новая конструкция подшипникового узла скольжения для судовой техники. Описана технология наложения постоянного магнитного поля на подшипниковый узел скольжения. Изложена методика подбора источников постоянного магнитного поля. Дано описание оборудования и материалов, использованных в ходе испытаний изобретения. Представлены положительные результаты испытаний: увеличение КПД оборудования, снижение вибрации вала. Перечислены преимущества нового изобретения.

**Ключевые слова:** Центровка, подшипниковый узел скольжения, судовой валопровод, постоянное магнитное поле, постоянный магнит.

### **A PERSPECTIVE METHOD OF ALIGNMENT AND RELIABILITY IMPROVEMENT OF SLIDING-SURFACE BEARING ASSEMBLIES OF MARINE PROPELLER SHAFTS**

**Eldar M. Mambetov**

Postgraduate Student, Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering

Astrakhan State Technical University

414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16

e-mail: eldar.mambetov.92@mail.ru

**Arshavir P. Perekrestov**

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department of Mechanical Science and

Engineering Graphics

Astrakhan State Marine Technical University

414056, Astrakhan, st. Tatishcheva, 16

e-mail: pap1943@rambler.ru

#### **Abstract**

The problems of reliability and alignment of sliding-surface bearing assemblies of marine propeller shafts are described. An advanced method of marine propeller shafts alignment, based on the use of a powerful constant magnetic field, is proposed. A completely new design of the sliding-surface bearing assembly for ship equipment is presented. The technology of imposing a constant magnetic field on a sliding-surface bearing assembly is described. The methodology for selection of sources of a constant magnetic field is stated. A description of the equipment and materials used during the tests of the invention is given. Positive test results are presented: increase in equipment efficiency, reduction of shaft vibration. The advantages of the new invention are listed.

**Keywords:** Alignment, sliding-surface bearing assembly, marine propeller shaft, constant magnetic field, permanent magnet.

**Введение**

Технологичность конструкций валопроводов остается одной из актуальных проблем судового машиностроения. Эксплуатационная надежность валопроводов во многих случаях оказывается недостаточной.

Имеет место постоянный рост объемов ремонтных и монтажных работ. Устранение многих нарушений в работе валопроводов нередко связывается с необходимостью перецентровки всей установки в целом.

Судовой валопровод это сложная механическая система, на которую действуют множество различных нагрузок. В статическом состоянии валопровод подвержен действию распределенных и сосредоточенных нагрузок от сил тяжести валов и навешенных узлов и деталей: фланцев, шкивов и др. Нагружение валов и опор будет зависеть и от монтажных искривлений валопровода при центровке в связи с устранением несоосностей.

В условиях эксплуатации на валопровод дополнительно действует система нагрузок, связанных с работой главного устройства, гребного винта и деформацией корпуса от изменения загрузки судна и метеорологических условий окружающей среды.

Работа валопровода не должна нарушаться при определенных эксплуатационных условиях, устанавливаемых проектной документацией. Валопровод с действующим устройством и главный двигатель, смонтированные при постройке судна, в последующий эксплуатационный период свое первоначальное положение не сохраняют ввиду деформации корпуса судна и износов трущихся подшипниковых пар. По этой причине работоспособность всей главной установки (ГУ) может быть утрачена, а надежность снижена до недопустимого уровня. Восстановление указанных качеств ГУ во многом связано с ее центровкой в период эксплуатации и ремонта судовой энергетической установки и судна [1].

Проблемами центровки и повышения надежности судовых подшипниковых узлов скольжения занимались известные ученые Комаров В.В., Гарашенко П.А., Лубенко В.Н., Румб В.К., Рубин Б.М., Соков Е.В., Болотин В.В., Покудин В.Г. и др. Анализ многочисленных работ в данном направлении показывает, что практически все известные изобретения и способы, имеют те или иные недостатки. Основными являются: сложность и высокая стоимость изготовления (реализации), недостаточная эффективность.

В связи со всем вышеизложенным, перед авторами настоящей статьи возникла задача создания универсального способа центровки и повышения надежности пар трения подшипниковых узлов скольжения судовых валопроводов.

Для этих целей авторы предлагают использовать совершенно новую конструкцию подшипникового узла скольжения на основе применения мощного источника постоянного магнитного поля [2].

**Описание изобретения**

Изобретение (см. рис. 1) состоит из корпуса подшипника скольжения, охватывающего цапфу вала, и вала, с размещенным между ними кольцевым вкладышем из немагнитных материалов. На внешней поверхности корпуса и на валу устанавливаются в продольном направлении и фиксируются металлическими ленточными хомутами постоянные линейные магниты с одинаково направленными полюсами.

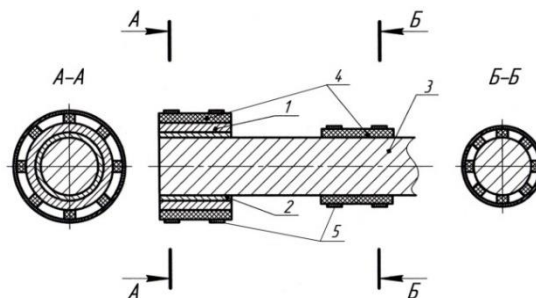


Рис. 1. Конструкция подшипникового узла скольжения: 1 – корпус подшипника скольжения; 2 – кольцевой вкладыш из немагнитных материалов; 3 – вал; 4 – постоянные магниты; 5 – хомуты

Работа изобретения реализуется следующим образом: вал 3 электродвигателем (на рис. 1 не показан) приводится в движение. При вращении вала 3 в корпусе подшипника 1 магнитное поле корректирует коаксиальность вала 3. При увеличении скорости вращения гребного вала 3 под действием гидродинамического давления жидкостной смазки возникает гидродинамический клин, способствующий подъему вала 3 (рис. 2в) и стремлению его к центральному положению в корпусе подшипника 1 (рис. 2г). Вал здесь осуществляет функцию магнитопровода.

Таким образом, происходит более быстрая и точная центровка вала в корпусе подшипника скольжения.

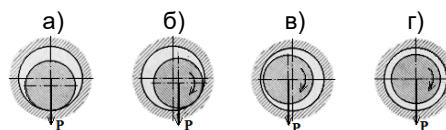


Рис. 2. Варианты расположения цапфы вала в подшипнике скольжения

**Технология наложения магнитного поля**

Необходимое магнитное поле создается за счет использования мощных источников постоянного магнитного поля – линейных неодимовых магнитов.

Магниты крепятся на корпус подшипника и вал в продольном направлении таким образом, чтобы одноименные полюса магнитов были направлены навстречу друг к другу. Сила магнитов должна обеспечивать достаточную отталкивающую силу.

Для правильного определения полюсов магнитов и измерения магнитной силы можно воспользоваться современными магнитометрами со встроенной функцией определения полюсов. Для этих целей авторами применялся цифровой



измеритель магнитной индукции (магнитометр) ATE-8702 со встроенным индикатором N- и S-поля (рис. 3). Измерительный сенсор магнитометра – датчик Холла. Данный прибор позволяет измерять параметры постоянных и переменных магнитных полей до 3000 мТл или 30000 Гс. С более подробным описанием и возможностями магнитометра можно ознакомиться в [3].

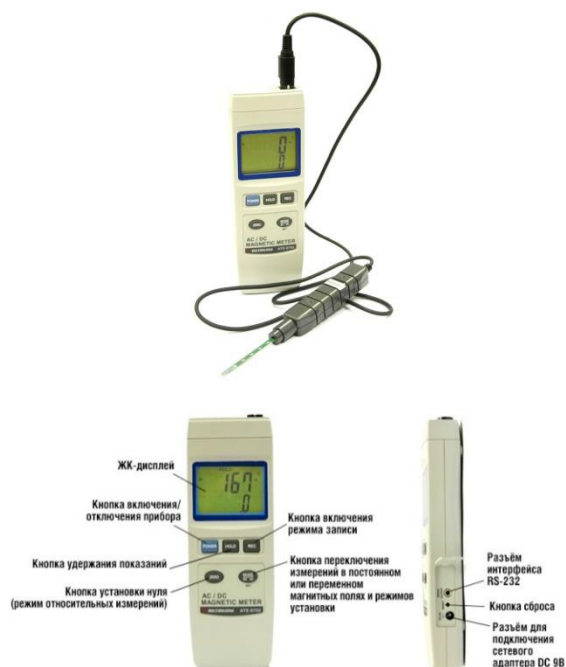


Рис. 3. Цифровой измеритель магнитной индукции (магнитометр) ATE-8702

**Методика подбора магнитов**

Существует несколько марок неодимовых магнитов, отличающиеся техническими характеристиками и назначением. Можно подобрать или заказать магниты различных форм (прямоугольной, цилиндрической, шарообразной), размеров и направлений намагниченности (аксиальной, радиальной, диаметральной).

Для крепления на корпус подшипника и вал наиболее оптимальны магниты прямоугольной формы и аксиальной (осевой) намагниченности, т.е. по толщине магнитов.

Для того чтобы правильно подобрать магниты нужно воспользоваться приведенной ниже методикой.

Сначала необходимо измерить габаритные размеры вала (длину  $l$  и диаметр  $d$ ), по которым можно вычислить его объем по формуле:

$$V_B = \pi \cdot r^2 \cdot l, \text{ м}^3,$$

где  $\pi$  – число Пи, приблизительно равное 3,14;  $r$  – радиус вала, м;  $l$  – длина вала, м.

По названию и марке металла, из которого изготовлен вал, с помощью справочных данных можно найти значение его плотности  $\rho$ .

Далее можно определить массу вала по формуле:

$$m_B = \rho \cdot V_B, \text{ кг},$$

где  $\rho$  – плотность металла, кг/м<sup>3</sup>;  $V_B$  – объем вала, м<sup>3</sup>.

Зная массогабаритные характеристики вала можно подобрать необходимое количество, марку и размер постоянных магнитов, которые смогут обеспечить необходимую отталкивающую силу (силу на отрыв).

Выяснить характеристики тех или иных магнитов не составит особого труда. Производители или продавцы магнитов, как правило, представляют их характеристики. Но даже в том случае, если их нет, то в настоящее время существует множество онлайн-калькуляторов по расчету магнитных характеристик, например [4].

**Испытание изобретения**

Новое изобретение испытано на современном испытательном оборудовании межинститутской лаборатории общеинженерных дисциплин ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Общий вид испытательной установки представлен на рис. 4, принципиальная схема на рис. 5. В ходе испытаний моделировалась работа судовой движительной установки.

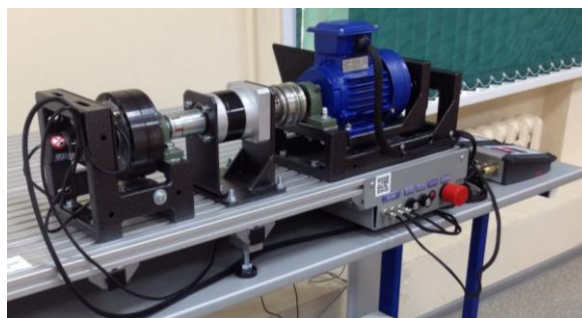


Рис. 4. Общий вид испытательной установки

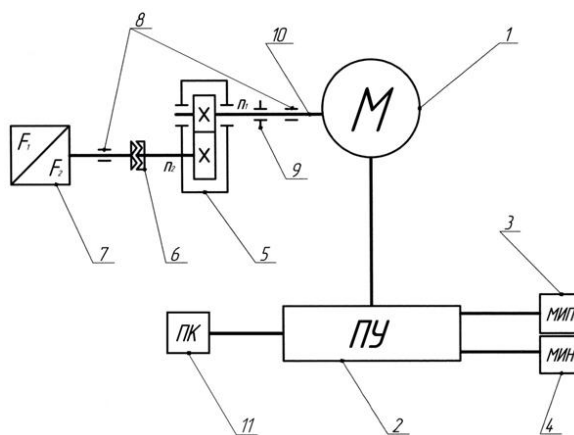


Рис. 5. Принципиальная схема испытательной установки: 1 – электродвигатель; 2 – панель управления; 3 – модуль измерения привода; 4 – модуль измерения нагрузки; 5 – редуктор; 6 – муфта; 7 – нагрузочное устройство; 8 – подшипники скольжения; 9 – шкив; 10 – вал; 11 – персональный компьютер

Установка приводится в движение электродвигателем модели АИР63В4 у2. В состав оборудования входят редуктор и нагрузочное устройство. Участки валопровода соединены муфтами.

На установке можно проводить испытания при различных скоростях вращения вала и нагрузках.

В оборудовании имеется возможность вывода рабочих параметров на экран персонального компьютера в режиме реального времени с функцией построения графиков и сохранения данных в табличной и графической форме.

В испытаниях применены мощные линейные неодимовые магниты марки N50. Их размеры (ДхШхВ) составляют 50х20х10 мм. Изображение магнитов показано на рис. 6, технические характеристики приведены в табл. 1 [5].



Рис. 6. Неодимовые магниты марки N50

В результате сравнительных экспериментов с использованием неодимовых магнитов получен прирост КПД оборудования на несколько процентов, который в среднем составил около 3%. Заметно снизился уровень вибрации вала. На рис. 7, 8 показаны сравнительные графики КПД при 500 и 800 об./мин. В табл. 2 представлены численные результаты экспериментов.

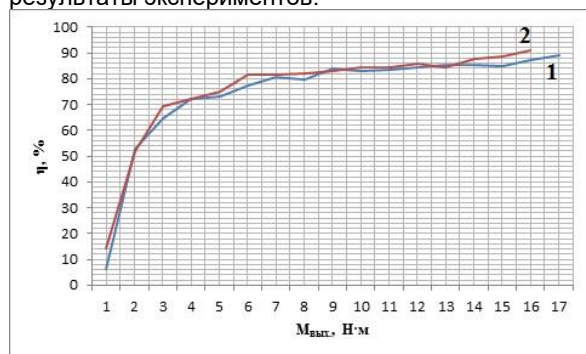


Рис. 7. График КПД при 500 об./мин.: 1 – без наложения магнитного поля; 2 – с наложением магнитного поля

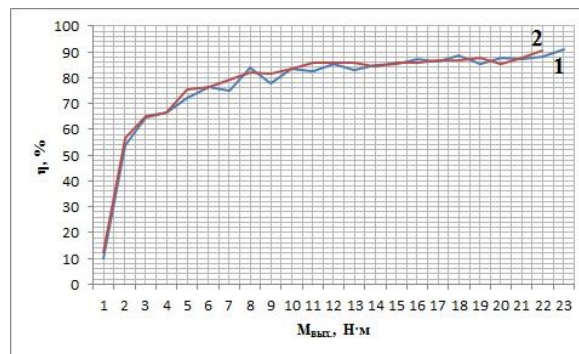


Рис. 8. График КПД при 800 об./мин.: 1 – без наложения магнитного поля; 2 – с наложением магнитного поля

**Заключение**

Представленный способ центровки и повышения надежности судовых подшипниковых узлов скольжения имеет все шансы на дальнейшее развитие и использование в судовой технике.

Изобретение обладает рядом преимуществ:

- высокой надежностью и стабильностью работы;
- простотой конструкции, легкостью реализации и обслуживания;
- хорошей ремонтопригодностью;
- относительно низкой стоимостью.

На основе проведенных испытаний удалось добиться увеличения КПД оборудования, снижения уровня вибрации вала.

Данное изобретение является универсальным, у которого практически отсутствуют аналоги. Оно может найти широкий круг применения и в других областях машиностроения, а также народного хозяйства, не ограничиваясь лишь подшипниковыми узлами скольжения судовых валопроводов.

Таблица 2

**Результаты замеров КПД при разных скоростях вращения вала**

Остаточная магнитная индукция, миллиТесла (килоГаусс)	Коэрцитивная сила, килоАмпер/метр (килоЭрстед)	Магнитная энергия, килоДжоуль/м <sup>3</sup> (МегаГаусс-Эрстед)	Рабочая температура, градус Цельсия
1400-1450 (14,0-14,5)	≥876 (≥12)	382-406 (48-51)	80

Таблица 2

## Результаты замеров КПД при разных скоростях вращения вала

Мвых., Н·м	η, %			
	при 500 об./мин.		при 800 об./мин.	
	без наложения магнитного поля	с наложением магнитного поля	без наложения магнитного поля	с наложением магнитного поля
0,5	6,11	14,37	10,11	12,39
1,5	52,65	52,03	53,98	56,79
2,5	64,43	69,08	64,48	64,9
3,5	72,14	72,18	66,51	66,66
4,5	73,13	75,13	72	75,2
5,5	77,42	81,49	76,5	76,49
6,5	80,66	81,68	74,94	79,29
7,5	79,88	81,81	83,82	82,12
8,5	83,79	82,73	77,89	81,63
9,5	83,12	84,59	83,48	83,44
10,5	83,56	84,51	82,69	85,76
11,5	84,36	85,85	85,35	85,91
12,5	85,2	84,15	83,04	86,02
13,5	85,18	87,78	84,73	84,61
14,5	84,91	88,78	85,43	85,95
15,5	87,36	90,83	87,36	85,84
16,5	88,89		86,45	86,74
17,5			88,53	86,69
18,5			85,12	87,56
19,5			87,8	85,5
20,5			87,27	87,49
21,5			87,99	90,68
22,5			90,89	

## Литература

1. Комаров, В.В. Центровка судовых валопроводов и главных двигателей: моногр. / В.В. Комаров; Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2011. – 458 с.
2. Пат. № 175223 Российская Федерация, МПК F16C 17/02 (2006.01) Подшипниковый узел скольжения / А.П. Перекрестов, Э.М. Мамбетов. – № 2017114846/11 (025803); заявл. 26.04.2017; опубл. 28.11.2017; Бюл. №34.
3. АТЕ-8702 Магнитометр [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aktakom.ru/>. (Дата обращения: 29.07.2017).
4. Калькулятор магнитной силы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ndfeb.ru/calc/> (Дата обращения: 18.01.2019).
5. Марка неодимовых магнитов [Электронный ресурс]. URL: [https://24magnet.ru/novosti/marka\\_magnitov/](https://24magnet.ru/novosti/marka_magnitov/). (Дата обращения: 04.03.2017).

## References

1. Komarov, V.V. Tsentrovka sudovykh valoprovodov i glavnykh dvigateley: monogr. / V.V. Komarov; Astrakhan. gos. tekhn. un-t. – Astrakhan': Izd-vo AGTU, 2011. – 458 s.
2. Pat. № 175223 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F16C 17/02 (2006.01) Podshipnikovyy uzel skol'zheniya / A.P. Perekrstov, E.M. Mambetov. – № 2017114846/11 (025803); zayavl. 26.04.2017; opubl. 28.11.2017; Byul. №34.
3. ATE-8702 Magnitometr [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.aktakom.ru/>. (Data obrashcheniya: 29.07.2017).
4. Kal'kulyator magnitnoy sily [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.ndfeb.ru/calc/> (Data obrashcheniya: 18.01.2019).
5. Marka neodimovykh magnitov [Elektronnyy resurs]. URL: [https://24magnet.ru/novosti/marka\\_magnitov/](https://24magnet.ru/novosti/marka_magnitov/). (Data obrashcheniya: 04.03.2017).

УДК 621.891

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ СУДОВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ В СМАЗОЧНОЙ СРЕДЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ СЛОИСТЫЕ МОДИФИКАТОРЫ ТРЕНИЯ

**Иван Николаевич Гужвенко**

ассистент кафедры «Техника и технологии наземного транспорта»

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

e-mail: ivan.3124@yandex.ru

**Василий Александрович Чанчиков**кандидат технических наук, доцент кафедры «Судостроение и энергетические  
комплексы морской техники»

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

e-mail: bazelius87@mail.ru

**Лама Баракат**

аспирант кафедры «Автоматика и управление»

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

e-mail: lama.barakat@mail.ru

**Нина Владимировна Прямухина**

кандидат биологических наук, доцент кафедры «Аквакультура и рыболовство»

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

e-mail: ninafishwom@mail.ru

**Екатерина Алексеевна Стринжа**

аспирант Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН

119334, г. Москва, ул. Косыгина, 4

e-mail: katya\_strinzha@mail.ru

**Олег Петрович Ковалев**доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Технологии продуктов питания и товароведения»

Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт

141821, Московская область, Дмитровский р-н, пос. Рыбное, 36

e-mail: drti\_agtu@mail.ru

### Аннотация

В работе приводятся результаты сравнительных противоизносных испытаний двух смазочных сред: бесприсадочного циркуляционного судового масла М16ГЦС и его аналога - смазочной композиции, состоящей из циркуляционного масла и слоистого модификатора трения, который в отличие от прочих противоизносных присадок создает на трибологически значимых поверхностях ЦПГ и прочих тяжело нагруженных узлов оптимальный рельеф, снижающий потери на трение. Испытания проводились в условиях истирания деталей цилиндропоршневой группы с сохраненными без изменения номинальными сопрягаемыми размерами. Двигатель, применяемый для испытания, является главным судовым дизелем модели 6Ч12/14СП (К-551). Рассматриваются вопросы проведения ускоренных испытаний на исследовательской установке оригинальной конструкции и адаптации параметров испытания для среднеоборотных судовых двигателей. Приведены результаты входных и выходных микрометрических исследований деталей ЦПГ в виде компрессионного кольца, цилиндрической втулки и поршня и охарактеризованы закономерности изменения размеров в результате проведения сравнительных противоизносных испытаний двух смазочных сред.

**Ключевые слова:** противоизносные испытания, противоизносная присадка, диселенид молибдена, возвратно-поступательное движение, цилиндрическая втулка, компрессионное кольцо, поршень, судовый дизельный двигатель, трение, изнашивание.

# STUDYING THE TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CYLINDER-PISTON GROUP PARTS OF A MARINE DIESEL ENGINE WITH THE ACCELERATED TESTS METHOD IN LUBRICATING MEDIUM CONTAINING LAMINATED FRICTION MODIFIERS

**Ivan N. Guzhvenko**

Assistant of the Department of Machinery and Technology of Ground Transport  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: ivan.3124@yandex.ru

**Vasily A. Chanchikov**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: bazelius87@mail.ru

**Lama Barakat**

Postgraduate Student of the Department "Automation and Control"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: lama.barakat@mail.ru

**Nina V. Pryamukhina**

Ph.D. Biology, Associate Professor, Department of Aquaculture and Fisheries  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: ninafishwom@mail.ru

**Ekaterina A. Strynzh**

graduate student of the Institute of Biochemical Physics named after N.M. Emanuel RAS  
119334, Moscow, Kosygin, 4  
e-mail: katya\_strinzha@mail.ru

**Oleg P. Kovalev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Head of the Department  
"Food and Merchandising Technology"  
Dmitrovsky Fisheries Technological Institute  
141821, Moscow region, Dmitrovsky district, vil. Ribnoye, 36  
e-mail: drti\_agtu@mail.ru

## Abstract

The paper presents the results of a comparative antiwear tests of two lubricating media: the circulating marine oil M16GTsS with no additives and its analogue - a lubricant composition consisting of circulating oil and a friction modifier with laminated structure, which, unlike other antiwear additives, creates ideal texturing on tribological significant surfaces of the CPG and other heavy-duty assemblies reducing friction losses. The tests were carried out under conditions of abrasion of the cylinder-piston group parts with the nominal mating dimensions kept unchanged. The engine used for testing is the main marine diesel engine, model 6Ch12 / 14SP (K-551). The issues of accelerated testing at the research facility of the original design and adaptation of the test parameters for medium-speed marine engines are reviewed. The results of the input and output micrometric studies of CPG parts in the form of a compression ring, a cylinder liner and a piston are presented, and regularities of dimensional changes as a result of comparative antiwear tests of two lubricants are described.

**Keywords:** antiwear tests, antiwear additive, molybdenum diselenide, reciprocating motion, cylinder liner, compression ring, piston, marine diesel engine, friction, wear.

## Введение

Наибольшее число судовых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на сегодняшний день относится к среднеоборотным энергетическим машинам с частотой вращения коленчатого вала от 375 до 750 об/мин. Данные двигатели носят практически одинаковые конструктивные признаки: тронковая цилиндропоршневая группа (ЦПГ), система смазки с влажным картером, число рабочих цилиндров в большинстве случаев – от 6 до 10. Предельная интенсивность изнашивания

ЦПГ наиболее распространенных отечественных и зарубежных судовых среднеоборотных двигателей, используемых в качестве главных судовых энергетических машин согласно [1] приведена в таблице 1.

Предельный ресурс работы отдельных моделей среднеоборотных двигателей до очередной переборки ЦПГ и до капитального ремонта ДВС указаны на рисунке 1.

Повысить ресурсные показатели ЦПГ указанных выше главных судовых двигателей возможно применением различных технологических мер –

поверхностным и локальным упрочнением материалов поверхностей трения ЦПГ, нанесением защитных покрытий при обработке сопряженных поверхностей. Все указанные конструктивные мероприятия затрагивают длительный вывод из эксплуатации ДВС и продолжительные простои судна под ремонт. Добиться снижения интенсивности изнашивания и увеличения предельного ресурса ЦПГ без вывода его из эксплуатации возможно внедрением в смазочную среду противоизносных присадок или добавок. Разработка новых смазочных материалов и смазочных композиций с улучшенными триботехническими свойствами является

перспективной задачей при оптимизации эксплуатационных условий для судовых дизелей внутреннего сгорания различного назначения. Высокими положительными свойствами в этом плане обладают слоистые и минеральные модификаторы трения [2-4], которые в отличие от прочих противоизносных присадок создают на трибологически значимых поверхностях ЦПГ и прочих тяжело нагруженных узлов возвратно-поступательного движения оптимальный рельеф, снижающий потери на трения. Тем самым, снижается склонность ЦПГ к полусухому трению и возрастают ресурсные показатели узла трения целом.

Таблица 1

**Предельная интенсивность изнашивания ЦПГ среднеоборотных ДВС различных моделей [1]**

№ п/п	Наименование СДВС	Предельная интенсивность изнашивания ЦПГ, $1 \cdot 10^{-9}$
1	Г-70 36/45 ЧРН	5,633
2	6ЧНСП 18/22	1,385
3	6 NVD 36 или 8 NVD 48	3,276 – 3,337
4	6 27,5A2L	1,806
5	8NVDS 36/24 A-1	3,517

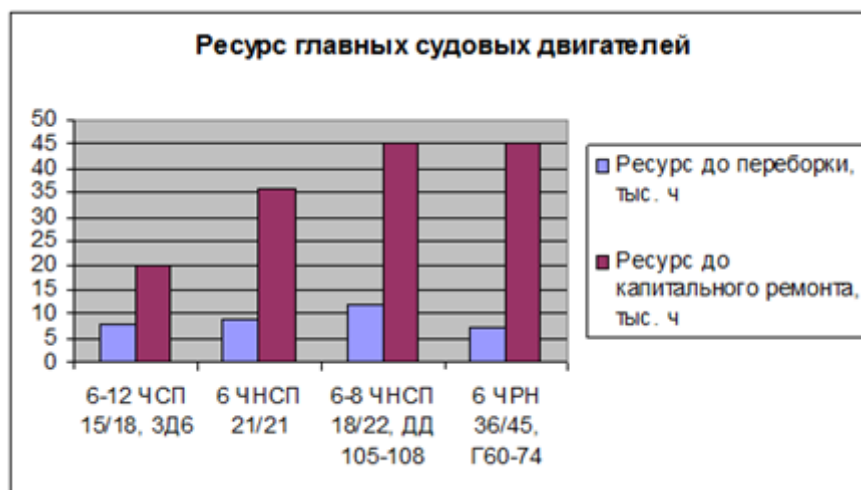


Рис. 1. Ресурсы до первой переборки ЦПГ и до капитального ремонта среднеоборотных ДВС

Слоистые модификаторы трения имеют перед минеральными неоспоримое преимущество в плане снижения срока приработки трибологической добавки при внедрении ее в поверхность трения. Кроме того, высота приработанного слоя, использующаяся как защитный слой между двумя трущимися поверхностями для слоистого модификатора трения на основе сернистых и селенистых соединений (дихалькогенидов металлов) выше, чем у ряда минеральных модификаторов трения даже при полностью сухом режиме трения [2].

В данной работе будет исследована трибологическая эффективность противоизносной присадки на основе диселенида молибдена  $MoSe_2$ , стабилизированного двумя ненасыщенными кислотами (олеиновой и стерариновой) в пропорции 2/3. Химическая формула состава данной присадки приведена в патенте [5].

Сравнительные испытания трибологической композиции циркуляционного масла и присадки по составу [5] в условиях трения деталей полноразмерной цилиндропоршневой группы главного судового двигателя наряду с чистым циркуляционным маслом показывают преимущество трибосостава на основе слоистого модификатора трения.

**1. Характеристика средств и объектов противоизносных испытаний**

Для сравнительных противоизносных испытаний двух смазочных сред (чистого циркуляционного масла М16ГЦС ГОСТ 21743-76 без добавок и с добавкой противоизносной присадки [5]) была разработана программа проведения испытаний с использованием машины трения возвратно-поступательного движения.

Машина трения включает в себя электродвигатель 1, смонтированный на раме 2 и приводящий в действие коленчатый вал 3 комплекса движения

испытательных образцов, имитирующих ЦПГ судового двигателя дизельного типа (рис. 2).

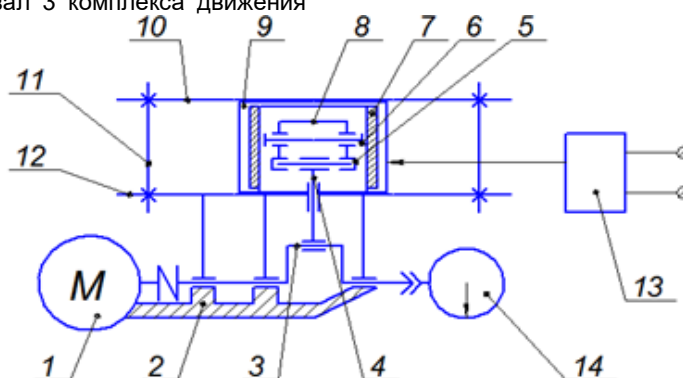


Рис. 2. Кинематическая схема возвратно-поступательной машины трения

Коленчатый вал 3 приводит в качательное движение шатун 4, который передвигает возвратно-поступательно кресткопфный переходник 5, соединенный резьбовым способом с дном поршня 8. На поршне в поршневой канавке укреплено компрессионное кольцо 6, скользящее по зеркалу цилиндрической втулки 7. Цилиндрическая втулка окружена тепловым экраном 10, который создает условия для термостатирования при нагреве внешней поверхности цилиндрической втулки. Нагрев тела втулки необходим для имитации условий работы ЦПГ и выполняется терморезистивным узлом 13 в диапазоне от 25 до 350°C. Осевая неподвижность втулки 7 обеспечивается двумя плитами 10 и 12, стянутыми вертикальными резьбовыми штырями 11. Контроль пути трения S, пройденного коленчатым валом выполняется по счетчику 14, который имеет кинематическую связь с передним концом коленчатого вала путем специального переходника.

полные номинальные размеры по сопряженным образующим диаметрам. Для поршня сохранен диаметр  $d = 119,86^{+0,021}$  мм с исходным заводским профилем образующей по длине тронка. Поршень имеет длину тронковой части в 3,85 раза укороченную по сравнению с заводской деталью. Данная мера позволяет сократить при противозносных испытаниях потери на трение большой длины тронка поршня. Аналогично для цилиндрической втулки сохранен диаметр отверстия  $D = 120^{+0,021}$  мм, при этом длина образующей зеркала цилиндра укорочена с 260 до 95 мм для минимизации размеров установки по габаритной высоте. Единственным не претерпевшим доработок элементом ЦПГ является поршневое компрессионное кольцо.

В качестве деталей трения ЦПГ использованы поршень, компрессионное кольцо и цилиндрическая втулка от серийного судового двигателя 6Ч12/14СП (К-551). Данный двигатель относится к высокооборотным (частота вращения коленчатого вала не менее 1500 об/мин). Электродвигатель испытательной установки способен разогнать коленчатый вал до частоты вращения 1450 об/мин, что всего на 3,5% меньше чем номинальная частота вращения указанного выше высокооборотного двигателя. Таким образом, возможна форсировка скорости передвижения деталей цилиндропоршневой группы любого среднеоборотного двигателя в 2-4 раза. При этом существенных различий в материалах деталей ЦПГ между высокооборотными двигателями и среднеоборотными по прочностным характеристикам практически не существует. Это обстоятельство дает возможность проводить на указанной возвратно-поступательной испытательной установке ускоренные по частоте вращения, а, следовательно, и номинальному времени проведения испытания детали ЦПГ среднеоборотных двигателей.

## 2. Методика и результаты противозносных испытаний

Испытания смазочных сред на их противозносную способность для полноразмерной цилиндропоршневой группы судового дизельного двигателя 6Ч12/14СП проводились в два этапа:

- испытания смазочной среды в виде чистого циркуляционного масла М16ГЦС без добавок;
- испытания смазочной среды-аналога в виде этого же масла с добавкой слоистого модификатора трения по [5]. При этом объемная концентрация присадки из условий удовлетворительного перемешивания в объеме смазочного масла не превышает 1,0%.

Временной цикл каждого испытания составлял 250 ч, что соответствовало примерно 826,5 км линейного пути пройденного деталями цилиндропоршневой группы при взаимном их контакте. Таким образом, для среднеоборотных двигателей на базе данной продолжительности испытаний возможна реализация ускоренных циклов ресурсных испытаний ЦПГ. К примеру, для реверсивного среднеоборотного двигателя 36/45ЧРН с номинальной частотой вращения 375 об/мин коленчатого вала указанная линейная длина пути трения ЦПГ соответствует всего 81,63 фактическим часам работы узла, однако число двойных ходов поршня испытательной установки в единицу времени превышает более чем в 3,86 раз число двойных ходов поршня реального

среднеоборотного двигателя. При этом, как известно из большинства теоретических источников по трению ЦПГ, наибольшие силы давления образующей профиля компрессионных колец и тронка поршня по стенке цилиндрической втулки возникают именно в точках реверсирования хода поршня. Сила давления на стенку цилиндра в этом случае растет пропорционально увеличению линейной скорости его движения в единицу времени. Из этого следует, что механическая и тепловая напряженность работы поршневого тронка и профиля кольца в единицу времени возрастает, что в условиях нестабильной толщины масляной пленки, стремящейся к истончению в мертвых точках хода приводит к повышенной изнашиваемости поверхностей трения. Движение поршня в описываемом эксперименте будет стремиться к быстрому колебанию контура трения деталей ЦПГ с достаточно высокой частотой – до 24 Гц против реальной скорости поршня в 6,25 Гц в полноразмерном среднеоборотном двигателе.

Таким образом, при проведении сравнительных противоизносных испытаний двух смазочных сред значительно увеличивается фактическая напряженность условий их проведения и растет износ поверхностей трения в единицу времени.

Условия проведения эксперимента приведены в таблице 2. Противоизносные испытания для каждой из смазочных сред выполнялись по следующему алгоритму:

- микрометрирование каждой из деталей ЦПГ (кольца, втулки и поршня) до начала эксперимента;
- сборка деталей ЦПГ в узел трения и монтаж узла на исследовательскую установку с присоединением к комплексу возвратно-поступательного движения;

- запуск испытательной установки в течение 0,5 ч для приработки деталей с обильной (до 5 см<sup>3</sup>) подачей подготовленной к испытанию смазочной среды и без принудительного нагрева наружной поверхности цилиндрической втулки;

- промежуточная остановка комплекса возвратно-поступательного движения в течение 0,25 ч;

- запуск испытательной установки в течение временного цикла 2,5 ч с однократной начальной подачей масла в зону трения в объеме 0,75 см<sup>3</sup> и внешним нагревом поверхности цилиндрической втулки в термостатической камере (температура не менее 250<sup>0</sup>С);

- промежуточная остановка комплекса возвратно-поступательного движения в течение 0,5 ч;

- последовательное повторение циклов трибологического испытания и промежуточных остановок до наработки временного цикла испытания деталей ЦПГ в режиме движения в объеме 250 ч;

- снятие узла трения с испытательной установки и разборка на составляющие детали;

- микрометрирование каждой из деталей ЦПГ (кольца, втулки и поршня) после проведения эксперимента.

Для поршня и цилиндрической втулки измерения номинальных диаметров образующих во всех трех высотных поясах (I-III) ведутся во взаимно перпендикулярных направлениях, для поршневого кольца осевая и радиальная толщина – измеряется взаимно перпендикулярно в восьми точках (1-8) с поворотом по окружности 45<sup>0</sup>. Схема микрометрирования каждой детали приведена на рисунках 3 и 4.

Таблица 2

Условия проведения противоизносных испытаний

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Ход поршня S	мм	38
Диаметр сопряженных поверхностей деталей ЦПГ		
Втулка цилиндра D <sub>ц</sub>	мм	120 <sup>+0,021</sup>
Поршень d <sub>ц</sub>	мм	119,86 <sup>+0,021</sup>
Осевая высота компрессионного кольца b <sub>ос</sub>	мм	5 <sup>+0,02</sup>
Радиальная ширина компрессионного кольца b <sub>рад</sub>	мм	3 <sup>+0,015</sup>
Соотношение длин шатуна и радиуса кривошипа для комплекса движения λ	-	0,2
Высота образующей деталей трения		
Поршень H	мм	32
Цилиндрическая втулка H	мм	95
Шероховатость трибологической поверхности деталей ЦПГ		
Цилиндрическая втулка Ra	мкм	0,08
Поршень Ra	мкм	0,32
Компрессионное кольцо Ra	мкм	0,16
Продолжительность цикла движения деталей ЦПГ S <sub>д</sub>	мин	180
Продолжительность простоя между циклами движения S <sub>п</sub>	мин	30
Количество циклов движения N	-	100
Объем смазочного масла, подаваемого в зону трения за цикл движения V	см <sup>3</sup>	0,75
Частота вращения коленчатого вала привода ЦПГ n <sub>кв</sub>	об/мин	1450±10
Линейная скорость движения поршня с <sub>п</sub>	м/с	2,88±0,01
Путь трения деталей ЦПГ за время всех циклов движения S <sub>д</sub>	м	826500±50
Путь трения за время приработки поверхностей трения деталей ЦПГ S <sub>п</sub>	м	1653±25
Температура нагрева внешней поверхности цилиндрической втулки t	°С	250±5
Номинальный эксплуатационный зазор в стыке замка компрессионного кольца Δ	мм	0,4



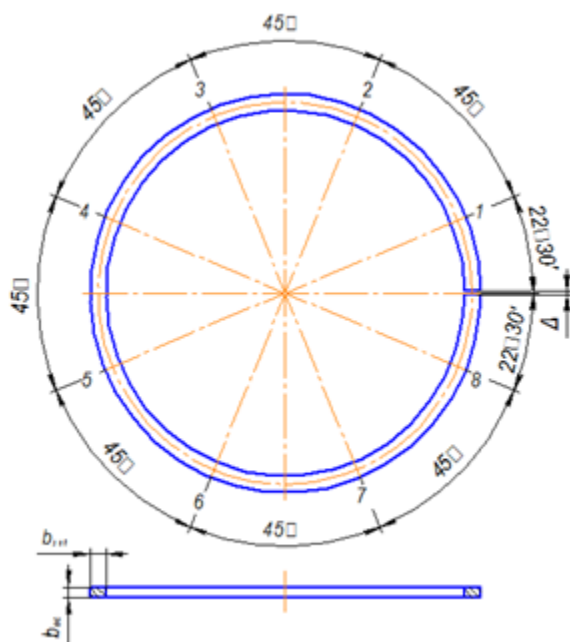


Рис. 3. Схема микрометрирования размеров полноразмерного поршневого компрессионного кольца двигателя 6Ч12/14СП (К-551)

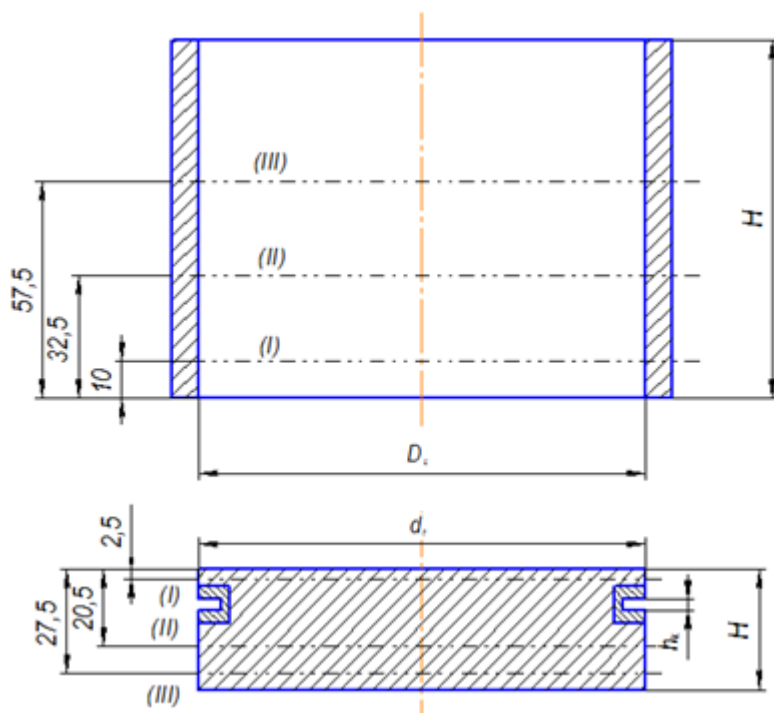


Рис. 4. Схема микрометрирования размеров модельных деталей цилиндровой втулки (сверху) и поршня (снизу) двигателя 6Ч12/14СП (К-551)

### 3. Результаты противоизносных испытаний

Проведенные противоизносные испытания двух смазочных сред: смазочной среды в виде чистого циркуляционного масла М16ГЦС без добавок и смазочной среды-аналога в виде этого же масла с добавкой слоистого модификатора трения по [5] с объемной концентрацией объеме смазочного

масла не превышающей 1,0% дали следующие результаты, приведенные в таблицах 3-5. Данные результаты получены на основе сравнения результатов микрометрирования трибологически сопряженных поверхностей деталей ЦПГ до и после проведения противоизносных испытаний. В таблицах 3-5 приведенные значения со знаком "+" показывают относительное увеличение

первоначальных размеров (для внутреннего диаметра зеркала втулки цилиндра диаметра); со знаком "-" - относительное уменьшение размеров (для толщины кольца и тронка поршня). Таким

образом, указаны не фактические размеры, полученные при каждом микрометрировании, а их относительное изменение по сравнению с первоначальными.

Таблица 3

**Изменение размеров компрессионного кольца за время проведения противоизносных испытаний**

№ измерения	Вид смазочной среды			
	С добавлением присадки по [5]		Без добавления присадки по [5]	
	радиал. толщина b <sub>рад</sub>	осев. толщина b <sub>ос</sub>	радиал. толщина b <sub>рад</sub>	осев. толщина b <sub>ос</sub>
1	-0,1	-0,07	-0,19	-0,04
2	-0,05	-0,03	-0,13	-0,02
3	-0,05	-0,04	-0,13	-0,04
4	-0,13	-0,03	-0,14	-0,04
5	-0,08	-0,04	-0,13	-0,03
6	-0,07	-0,04	-0,12	-0,04
7	-0,09	-0,09	-0,12	-0,03
8	-0,1	-0,1	-0,16	-0,04

Таблица 4

**Изменение размеров цилиндровой втулки за время проведения противоизносных испытаний**

№ пояса	Вид смазочной среды							
	С добавлением присадки по [5]				Без добавления присадки по [5]			
	плоск. к/вала	плоск. шатуна	овал.	конусн.	плоск. к/вала	плоск. шатуна	овал.	конусн.
I	+0,05	+0,05	0	0,00068	+0,04	+0,04	0	0,00041
II	+0,03	+0,04	0,01	0	+0,03	+0,04	0,01	0,00013
III	+0,04	+0,05	0,01		+0,03	+0,04	0,01	

Таблица 5

**Изменение размеров поршня за время проведения противоизносных испытаний**

№ пояса	Вид смазочной среды					
	С добавлением присадки по [5]			Без добавления присадки по [5]		
	плоск. к/вала	плоск. шатуна	овал.	плоск. к/вала	плоск. шатуна	овал.
I	-0,03	-0,04	0,02	-0,03	-0,04	0,02
II	-0,02	-0,05	0,04	-0,04	-0,03	0
III	-0,03	-0,04	0,02	-0,04	-0,03	0

Для поршня и цилиндра в таблицах 4-5 дополнительно указаны значения овальности и конусности поверхностей трения между двумя поясами обмера для качественной оценки износа трибологически поверхностей.

**Выводы**

В целом по результатам проведенного противоизносного испытания при анализе данных таблиц 3-5 возможно сделать следующие выводы о состоянии деталей цилиндропоршневой группы в результате ускоренных испытаний двух смазочных материалов в условиях судовой дизельной ЦПГ:

1. Тепловой зазор между торцами канавки и кольцом во всех двух циклах испытания не превысил допустимого значения в 0,4 мм, но в случае использования присадки [5] как добавки к

смазочному маслу распределение зазора более равномерно по окружности канавки. С другой стороны, зазор в случае использования триботехнической композиции вместо масла в некоторых местах по окружности кольцевой канавки поршня приблизился к номинальному. Это может говорить о неучтенных факторах теплового напряжения на фазе приработки поршневых элементов ЦПГ или короблении канавки поршня при работе в тяжелых условиях сгорания топливно-воздушной смеси.

2. Изменение радиальной толщины s кольца в цикле с добавкой присадки [5] по сравнению с аналогичным циклом испытания где использовано обычное смазочное масло, более равномерно по окружности и составляет меньшую величину.

Это отразилось, прежде всего на упругости кольца после испытаний – до испытаний тангенциальная упругость всех шести поршневых колец составляла 20кН, в то время как после 600-ч цикла испытаний для случая использования присадки [5] тангенциальная упругость осталась в пределах 38 кН, а в случае чистого циркуляционного масла составляла уже менее 36-37,2 кН, что говорит о некотором прослаблении кольца по длине своей развертки. Кроме того, при использовании чистого масла М16ГЦС наблюдается увеличение эксплуатационного зазора замка кольца при проверке в кольцевом калибре диаметром  $120^{+0,021}$  мм, что говорит о снижении радиальной упругости кольца.

3. Отклонения радиальной ширины (толщины  $b_{\text{рад}}$ ) и осевой высоты  $b_{\text{ос}}$  в обоих циклах испытания не превысили допустимых значений, но оказались выше в случае использования чистого циркуляционного масла без добавок. Это может объясняться повышением антифрикционных и противоизносных свойств смазочного слоя в случае использования присадки [5], содержащую диселенид молибдена и ненасыщенные жирные кислоты, которые играют роль в правильной организации молекулярных цепей на стыке поверхностей контактного взаимодействия трущихся деталей.

4. Отклонения овальности цилиндрической поверхности поршня и цилиндрической гильзы (таблицы 5 и 4) не превысили допустимых значений, однако в случае использования противоизносной присадки [5], как добавки овальность по плоскости качания шатуна была полностью выбрана и стала нулевой. Это не отражается в большой мере на взаимном износе деталей ЦПГ на протяжении всего срока службы, но может создать предпосылки для ухудшения теплового состояния образующей поверхности поршня.

5. Конусообразность зеркала цилиндра по длине образующей не превысила также допустимых значений и в случае использования противоизносной присадки [5] обладает значительно меньшим значением, что говорит о меньшем искажении взаимной геометрии деталей ЦПГ (поршня и цилиндра).

6. В целом, сложно говорить о качественном изменении процессов трения и изнашивания двигателя дизельного типа при использовании стандартного масла или его противоизносного аналога, однако количественные показатели говорят о достаточном снижении темпа износа деталей ЦПГ при одинаковых наработках в случае использования противоизносной присадки-добавки по [5].

#### Литература

1. Клемушин, Ф.М. К расчету износа цилиндрических втулок дизелей // Трение и износ. – 1980. – №5. – Т. 1. – С. 864-868.
2. Марченко, Е.А. О механизме изнашивания диселенида молибдена // Трение и износ. – 2000. – №4. – Т. 21. – С. 438-443.
3. Марченко Е.А., Лобова Т.А. Взаимодействие поверхностей трения со смазочными материалами типа 2N-MoS<sub>2</sub> // Трение и износ. – 2008. – №4. – Т. 29. – С. 391-398.
4. Долгополов К.Н., Любимов Д.Н., Пономаренко А.Г., Чигаренко Г.Г., Бойко М.В. Структура смазочных слоев, формирующихся в присутствии присадок минеральных модификаторов трения // Трение и износ. – 2009. – №5. – Т. 30. – С. 516-521.
5. Пат. 2570643 Российская Федерация, МПК С10М 169/04, С10М 125/22 / Противоизносная присадка. А.П. Перекрестов, Ю.Н. Дроздов, В.А. Чанчиков, И.Н. Гужвенко, С.А. Свекольников; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «АГТУ» - заявл. 22.07.2014; опубл. 10.12.2015, Бюл. №34. – 5 с.

#### References

1. Klemushin, F.M. K raschetu iznosa tsilindrovyykh vtulok dizeley // Treniye i iznos. – 1980. – №5. – Т. 1. – S. 864-868.
2. Marchenko, E.A. O mekhanizme iznashivaniya diselenida molibdena // Treniye i iznos. – 2000. – №4. – Т. 21. – S. 438-443.
3. Marchenko E.A., Lobova T.A. Vzaimodeystvie poverkhnostey treniya so smazochnymi materialami tipa 2N-MoS<sub>2</sub> // Treniye i iznos. – 2008. – №4. – Т. 29. – S. 391-398.
4. Dolgopolov K.N., Lyubimov D.N., Ponomarenko A.G., Chigareno G.G., Boyko M.V. Struktura smazochnykh slojev, formiruyushchikhsya v prisutstvii prisadok mineral'nykh modifikatorov treniya // Treniye i iznos. – 2009. – №5. – Т. 30. – S. 516-521.
5. Pat. 2570643 Rossiyskaya Federatsiya, MPK S10M 169/04, S10M 125/22 / Protivoiznosnaya prisadka. A.P. Perekrestov, Yu.N. Drozdov, V.A. Chanchikov, I.N. Guzhvenko, S.A. Svekol'nikov; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «AGTU» - zayavl. 22.07.2014; opubl. 10.12.2015, Byul. №34. – 5 s.

УДК 621.65.03

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕВЫХ НАСОСОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕНЗОМЕТРИИ

**Владимир Павлович Булгаков**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры  
«Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: mbulgak@mail.ru

**Олег Петрович Ковалёв**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Товароведение, холодильные машины и технологии»

Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт  
141821, Московская область, Дмитровский р-н, пос. Рыбное, 36  
e-mail: kovalev47@mail.ru

**Михаил Николаевич Покусаев**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация водного транспорта»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: pokusaev@astu.org

**Алексей Викторович Трифонов**

аспирант кафедры «Эксплуатация водного транспорта»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: trifonov91@inbox.ru

**Василий Владимирович Шахов**

старший преподаватель кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: vaskas@mail.ru

### Аннотация

Традиционно применяемые способы определения крутящего момента не всегда позволяют с достаточной точностью оценить значение снимаемого параметра, что особенно обращает на себя внимание при снятии механической характеристики насосов с малым уровнем крутящего момента на валу. В статье предложена методика определения мощности вихревых насосов при проведении испытаний, основанная на измерении крутящего момента тензодатчиками. Для испытания насоса на экспериментальном стенде была использована бесконтактная тензометрическая система английской фирмы «Astech Electronics». После проведения серии испытания насоса были построены графические зависимости основных параметров от подачи насоса на различных частотах вращения. Применение предложенного измерителя крутящего момента позволяет определять мощность с большей точностью. Определение нагрузок в пределах зоны тарировки позволяет снизить влияние различных факторов на погрешность измерений и повысить их точность. Результаты испытания позволяют определить потребляемую реальным насосом мощность и рассчитать целесообразность модернизации установки в привод вариатора. Для дальнейшего исследования планируется дооснащение экспериментальной установки системой автоматического управления для вариатора в зависимости от температуры воды.

**Ключевые слова:** крутящий момент, вихревой насос, тензодатчик, энергоэффективность, вариатор, гидравлические испытания.

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF VORTEX PUMP PARAMETERS OF SHIP DIESELS WITH THE USE OF TENSOMETRY

**Vladimir P. Bulgakov**

Dr.Sci.Tech, Professor, Professor, Department of  
"Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: mbulgak@mail.ru

**Oleg P. Kovalev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Head of the Department of "Merchandise, Refrigeration Machines and Technologies"  
Dmitrovsky Fisheries Technological Institute  
141821, Moscow region, Dmitrovsky district, vil. Ribnoye, 36

e-mail: kovalev47@mail.ru

**Mikhail N. Pokusaev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Head of the Department of Water Transport Operation  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: pokusaev@astu.org

**Alexey V. Trifonov**

Postgraduate Student of the Department Operation of Water Transport  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: trifonov91@inbox.ru

**Vasily V. Shakhov**

Senior Lecturer, Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: vaskas@mail.ru

### Abstract

Traditionally used methods for determining the torque do not always allow with sufficient accuracy to estimate the value of this parameter, which especially attracts attention when reading the mechanical characteristics of pumps with a low level of torque on the shaft. The article proposed a method for determining the power of vortex pumps during the tests, based on the measurement of torque by strain gauges. To test the pump on an experimental test bench, a contactless strain gauge system from the British company Astech Electronics was used. After conducting a series of pump tests, graphic dependencies of the main parameters on the pump delivery rate at various rotational speeds were built. The application of the proposed torque meter allows determining power with greater accuracy. Determination of loads within the calibration zone allows reducing the influence of various factors on the measurement error and increasing their accuracy. The test results will determine the power consumed by the real pump and calculate the feasibility of upgrading by installation of CVT in a drive. For further research, it is planned to equip the experimental bench with an automatic control system for the CVT depending on the water temperature.

**Keywords:** torque, vortex pump, strain gauge, energy efficiency, CVT, hydraulic tests.

### Введение

В лаборатории «Судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «АГТУ») установлен экспериментальный стенд для гидравлических испытаний вихревого насоса. Внешний вид стенда показан на рисунке 1.



Рис. 1. Экспериментальный стенд для моделирования системы охлаждения судна забортной водой

Экспериментальный стенд предназначен для проведения исследований по изменению КПД, режимов работы насоса в зависимости от частоты вращения рабочего колеса, параметрических и кавитационных испытаний в соответствии с [1].

Испытываемый на экспериментальном стенде насос ВКС1/16 имеет режимы работы подобные насосу ВКС2/26, который устанавливается для системы охлаждения забортной водой на судовом двигателе ЯМЗ-238ГМ2 в составе дизель-редукторного агрегата СДРА-150. Эти насосы относятся к одной серии. Насосы имеют одинаковые коэффициенты быстроходности  $n_s=21$ , что является признаком подобия режимов работы насосов. Более подробное описание стенда приведено в статье [5].

### 1. Цели и задачи исследования

Одним из основных параметров, определяемых при проведении гидравлических испытаний насоса на стенде, является мощность и полезная мощность. В соответствии с [1] мощность насоса (мощность, потребляемая насосом)  $P$  - мощность, передаваемая насосу от его привода.

Для определения мощности насоса  $P$  на экспериментальном стенде установлен трёхфазный счётчик Энергомера СЕ303R33745JAZ. Счётчик предназначен для измерения активной мощности  $N$ , потребляемой электроприводом.

На основании экспериментальных данных определяется потребляемая электроприводом мощность  $N$  и полезная мощность насоса  $P_u$ . Для определения мощности насоса  $P$  используется формула:

$$P = N \cdot \eta_{эд} \cdot \eta_{пч}, \quad (1)$$

где  $N$  - потребляемая электроприводом активная мощность, Вт;

$\eta_{эд}$  - КПД электродвигателя;

$\eta_{пч}$  - КПД преобразователя частоты.

Полезная мощность насоса (мощность, отдаваемая насосом)  $P_u$  - механическая мощность, сообщаемая насосом подаваемой жидкой среде и определяется зависимостью:

$$P_u = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H, \quad (2)$$

где  $\rho$  - плотность жидкости, на которой проводятся испытания, кг/м<sup>3</sup>

$Q$  - объемная подача, м<sup>3</sup>/с;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$H$  - напор, м.

КПД насоса  $\eta$  - отношение мощности, отдаваемой насосом жидкости, к мощности, потребляемой насосом:

$$\eta = \frac{P}{P_u}, \quad (3)$$

КПД преобразователя частоты  $\eta_{пч}$  определяется на основании рекомендаций из источника [2] и КПД электродвигателя  $\eta_{эд}$  определяется по универсальной характеристике асинхронного электродвигателя [3]. Определением значений КПД соединительной муфты можно пренебречь, так как она осуществляет передачу крутящего момента и значение ее КПД близко к единице.

Такой способ определения не позволяет с высокой степенью достоверности определить мощность на валу. Более точные методы определения мощности насоса связаны с измерениями крутящего момента и угловой скорости насоса.

В соответствии с [1] мощность насоса можно определить по измерениям частоты вращения и крутящего момента или измерением потребляемой мощности двигателя и известного его КПД при непосредственном соединении насоса к приводу. Механическая мощность, передаваемая электрическим двигателем ротору насоса через вал, позволяет определить КПД насоса и вычисляется по формуле

$$P = \omega \cdot M_{кр}, \quad (4)$$

где  $\omega$  - угловая скорость вращения ротора насоса, с<sup>-1</sup>;

$M_{кр}$  - крутящий момент на валу насоса, Н·м.

Угловую скорость определяют по показаниям частоты вращения, которая измеряется тахометром. Для определения частоты вращения насоса на экспериментальном стенде применяется бесконтактный цифровой тахометр Victor DM6235P.

Точное измерение крутящего момента можно проводить с помощью систем определяющих торсионную деформацию вала. Одним из распространенных методов измерения деформации вала является использование тензометрических датчиков.

Цель работы - применение тензодатчиков для определения крутящего момента и мощности на описанном экспериментальном стенде.

## 2. Технология проведения испытаний

Тензодатчики преобразуют скручивание измерительного вала в соответствии с моментом в электрический сигнал и передают этот сигнал посредством контактных колец и щеток, оптическим способом, по радиоканалу, либо по принципу вращающегося трансформатора. Среди

перечисленных наибольший интерес вызывают бесконтактные тензодатчики. В них отсутствуют щетки и контактные кольца, что делает эти датчики надежными и удобными в обслуживании.

Принцип действия современных бесконтактных датчиков с дистанционной передачей заключается в следующем: датчики осуществляют измерение торсионной деформации вала, вызванной крутящим моментом, посредством тензосхемы и преобразуют в сигнал. Далее сигнал с тензосхемы усиливается и оцифровывается с помощью аналого-цифрового преобразователя во вращающейся части и передается в виде радиосигнала на стационарную часть. Переданный сигнал конвертируется цифро-аналоговым преобразователем в аналоговый выходной сигнал, который затем поступает на регистрирующее устройство.

Использование тензомоста для измерения крутящего момента при применении подходящих датчиков позволяет измерять неограниченный диапазон моментов на вращающихся валах.

Для испытания насоса на стенде была использована бесконтактная тензометрическая система английской фирмы «Astech Electronics», который используется при проведении торсиографирования судовых машинно-двигательных комплексов испытательным центром «Marine Technology Service» ФГБОУ ВО «АГТУ».

Эта система позволяет измерять крутящий момент, деформацию, механические напряжения с использованием тензодатчиков. Беспроводной способ передачи измеренных данных к стационарному измерительному преобразователю обеспечивается по принципу емкостного высокочастотного перехода через кольцевую антенну.

Индуктивный измерительный преобразователь воспринимает сигнал и предает его через кабель на декодер. Полученный сигнал декодируется и преобразуется в сигнал непосредственно для ввода в компьютер.

На рисунке 2 показаны установленные на вал насоса тензодатчики ФКР2-3-400. Тензодатчики были установлены на участок вала между крышкой и полумуфтой.

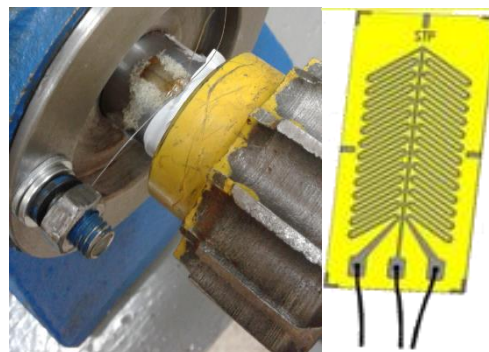


Рис. 2. Тензодатчики ФКР2-3-400

Точность и надежность работы тензодатчиков в значительной мере зависит от качества их наклейки. Поверхность вала перед наклейкой тензодатчиков должна была тщательно очищена от

покрытий, грязи, жира и обработана наждачной бумагой [4].

Тензодатчики фольговые ФК выпускаются по ГОСТ 21616-91 и Техническим условиям ТУ 4273-006-16695547-2016, сертифицированы Федеральным Агентством по техническому регулированию и метрологии РФ (Свидетельство RU.C.28.164.A № 66785) и внесены в Государственный реестр средств измерений за № 68200-17.

На лабораторном стенде тарировка производилась с отсоединённым вариатором: стопорилось колесо насоса, а конец с напрессованной полумуфтой с помощью рычага нагружался эталонными грузами различной массы.

По результатам тарировки построен график зависимости амплитуд отклонений записи прибора от величины крутящих моментов (рисунок 3).

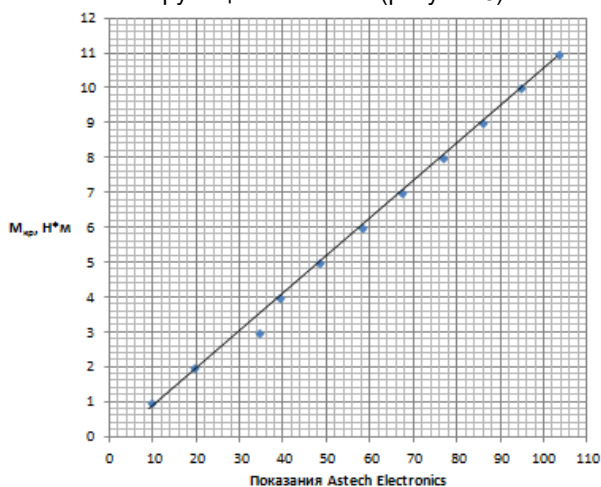


Рис. 3. Тарировочный график

После наклейки тензометрических датчиков и сборки агрегата на полумуфту вариатора с помощью специальных стальных стяжек были закреплены трансмиттер и батарея питания. На резиновой подкладной полосе на вал была установлена круговая антенна. В районе круговой антенны была установлена приемная головка (рисунок 4). С одной стороны вала были установлены контроллер и передатчик, а с другой стороны батарея питания, компенсирующая массу передатчика. В процессе работы данные передавались на ноутбук в реальном времени и производилась запись.



Рис. 4. Собранный система для измерения крутящего момента

### 3. Результаты испытаний

После проведения серии испытания насоса в соответствии с [1] были построены графические зависимости основных параметров от подачи насоса на различных частотах вращения. Пример записи значений Astech Electronics крутящего момента на валу насоса при частоте 900 об/мин показан на рисунке 5.

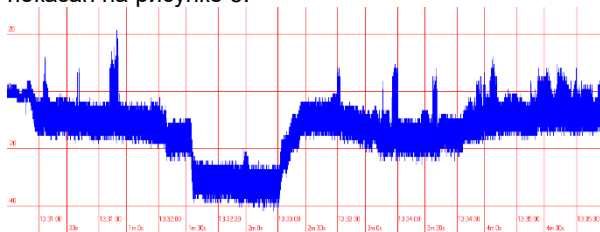


Рис. 5. Результаты измерения крутящего момента с помощью Astech Electronics

При проведении испытаний записывается среднее значение из диапазона. Из рисунка видно, как повышается крутящий момент на валу при пуске насоса первые 15с, в период времени 30с - 1м 30с при ступенчатом закрытии крана на нагнетательном трубопроводе, при полном закрытии в период времени 1м 30с - 2м 15с. Постепенное открытие крана произведено в период 2м 15с - 2м 30с, значение крутящего момента вернулось к начальному значению.

Результаты анализа полученных данных позволяют выявить тенденции и закономерности изменения двух важных параметров насоса мощности и расхода. Вариатор позволяет менять передаточное отношение в диапазоне 0,143-0,714, соответственно частота вращения насоса на стенде меняется от 200 до 1000 об/мин. На рисунке 6 показана характеристика мощности насоса ВСК1/16 для частоты вращения 900 об/мин. По оси ординат показано изменение мощности N вихревого насоса, по оси абсцисс – изменение расхода воды Q. На рисунке пунктирной линией показана паспортная характеристика мощности насоса. Для измерений на частотах вращения ниже 900 об/мин в дальнейшем планируется установка тензодатчиков с большим коэффициентом чувствительности.

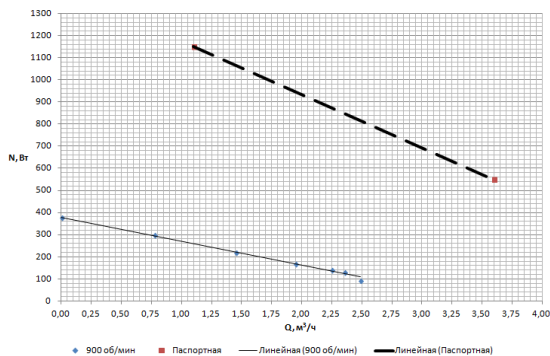


Рис. 6. Характеристика мощности насоса VKC1/16

Работающей на номинальной частоте вращения 1500 об/мин насос VKC1/16 потребляет 1000 Вт мощности. Из рисунка видно, что потребляемая мощность уменьшается до 300 Вт при частоте вращения 900 об/мин, что подтверждает энергоэффективность регулирования частоты вращения через вариатор навесных насосов забортной воды.

На рисунке 7 показано сравнение мощности полученной на испытаниях без вариатора по формуле 1 по измеренной электрической мощности и на испытаниях с вариатором по формуле 4 по показаниям крутящего момента Astech Electronics.

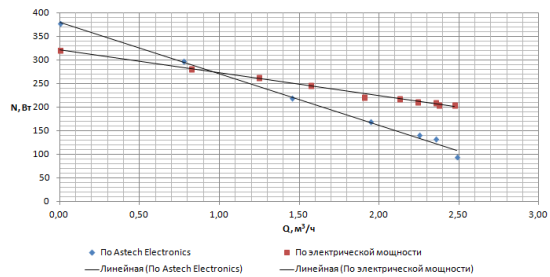


Рис. 7. Характеристики мощности насоса VKC1/16 при частоте вращения 900 об/мин

На рисунке 8 показаны характеристики КПД насоса VKC1/16 на той же частоте вращения рассчитанные по формуле 3 по измеренной

электрической мощности и по показаниям крутящего момента Astech Electronics.

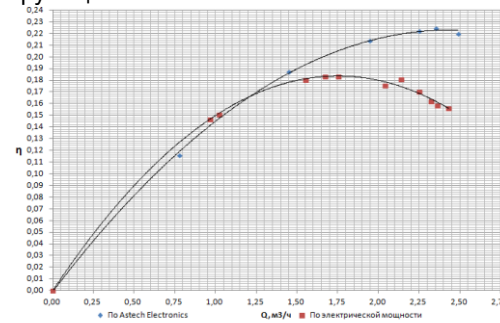


Рис. 8.

Характеристика КПД насоса VKC1/16

КПД регулируемого насоса становится ниже, чем КПД при номинальной частоте вращения. Это означает, что при дальнейшем изучении навесных насосов забортной воды с приводом от двигателя через вариатор необходимо будет учитывать это снижение и ограничивать диапазон работы. Максимальное значение КПД, рассчитанного по электрической мощности составило 18%, а максимальное значение КПД, рассчитанного по показаниям крутящего момента Astech Electronics составило 22% - больше в 1,22 раза.

**Выводы**

Применение предложенного измерителя крутящего момента позволяет определять мощность с большей точностью при проведении испытаний насоса на экспериментальном стенде. Определение нагрузок в пределах зоны тарировки позволяет снизить влияние различных факторов на погрешность измерений и повысить их точность. Таким образом, поставленная в работе цель достигнута. Результаты испытания позволят определить потребляемую реальным насосом мощность и рассчитать целесообразность модернизации установкой в привод вариатора.

Для дальнейшего исследования планируется дооснащение экспериментальной установки системой автоматического управления для вариатора в зависимости от температуры воды.

**Литература**

- ГОСТ 6134-2007 Насосы динамические. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2008. – 94 с.
- Березин, С.Е. Насосные станции с погружными насосами. Расчет и конструирование / С.Е. Березин – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2008. – 160 с.
- Сыромятников, И.А. Режим работы асинхронных и синхронных двигателей / И.А. Сыромятников. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.
- Маслов, Г.С. Расчеты колебаний валов. – М.: Машиностроение, 1968. – 268 с.
- Покусаев М.Н., Селиванов Н.В., Трифонов А.В. Экспериментальная установка для моделирования системы охлаждения судна забортной водой // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – Т. 4. – № 4 (42). – С. 100-104.

**References**

- GOST 6134-2007 Nasosy dinamicheskie. Metody ispytaniy. M.: Standartinform, 2008. 94 p.
- Berezin, S.E. Nasosnye stancii s pogruzhnymi nasosami. Raschet i konstruirovaniye. S.E. Berezin M.: OAO «Izdatel'stvo «Strojizdat», 2008. 160 p.
- Syromyatnikov, I.A. Rezhim raboty asinhronnyh i sinhronnyh dvigatelej. I.A. Syromyatnikov. M.: ENergoatomizdat, 1984. 240 p.
- Maslov, G.S. Raschety kolebanij valov. M.: Mashinostroenie, 1968. 268 p.
- Pokusaev M.N., Selivanov N.V., Trifonov A.V. EHksperimental'naya ustanovka dlya modelirovaniya sistemy ohlazhdeniya sudna zabortnoj vodoj. Morskije intellektual'nye tekhnologii. 2018. T. 4. № 4 (42). p. 100-104.



УДК 629.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ МАШИННО-ДВИЖИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РАЗЪЕЗДНОГО РЕЧНОГО СУДНА «РК-2091» ПРОЕКТА 376

**Михаил Николаевич Покусаев**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Эксплуатация водного транспорта"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: evt@astu.org

**Виктор Андреевич Мамонтов**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры "Судостроение и энергетические комплексы морской техники"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Анатолий Рашидович Рубан**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой "Судостроение и энергетические комплексы морской техники"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Олег Петрович Ковалев**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
"Технологии продуктов питания и товароведения"  
Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт  
141821, Московская область, Дмитровский р-н, пос. Рыбное, 36  
e-mail: drti\_agtu@mail.ru

**Максим Михайлович Горбачев**

кандидат технических наук, доцент кафедры "Эксплуатация водного транспорта"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: max9999\_9@mail.ru

### Аннотация

Статья посвящена исследованию крутильных колебаний машинно-двигательного комплекса разъездного речного судна «РК-2091» проекта 376 с высокооборотным двигателем ЗД6 (без силиконового демпфера) с редукторной передачей мощности на гребной винт фиксированного шага. Для расчета крутильных колебаний была применена традиционная методика Терских В.П., а для проведения измерений - сертифицированный тензометрический комплекс «Astech Electronics». В результате исследования было определено, что для судна «РК-2091» напряжения от крутильных колебаний не превышают допустимые по правилам Регистра, но при сравнении с судном «Лев Третьяков» с аналогичным двигателем ЗД6 наблюдаются повышенные значения напряжений в коленчатом валу двигателя. Исследование позволяет говорить о том, что, длительная эксплуатация судна с главным двигателем без демпфера и без периодического торсиографирования (которое производится обычно для диагностики технического состояния демпферов или при определенных Регистром случаях замены элементов валопровода), может привести к росту напряжений в валах и в конечном итоге – к превышению допустимых значений.

**Ключевые слова:** крутильные колебания, силиконовый демпфер, судовые энергетические установки, машинно-двигательный комплекс.

## STUDY OF THE TORSION VIBRATIONS OF THE RIVER GENERAL SERVICE LAUNCH "RK-2091" PROJECT 376 PROPULSION SYSTEM

**Mikhail N. Pokusaev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Head of the Department of Water Transport Operation  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: evt@astu.org

**Victor A. Mamontov**

Dr.Sci.Tech, Professor  
Professor, Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Anatoly R. Ruban**

PhD in Engineering Science, Associate Professor  
Head of the Department of "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: a.ruban1974@mail.ru

**Oleg P. Kovalev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Head of the Department  
"Food and Merchandising Technology"  
Dmitrovsky Fisheries Technological Institute  
141821, Moscow region, Dmitrovsky district, vil. Ribnoye, 36  
e-mail: drti\_agtu@mail.ru

**Maxim M. Gorbachev**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor in the Department of "Water Transport Operation"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: max9999\_9@mail.ru

**Abstract**

The article is devoted to the study of the torsion vibrations of the propulsion system of a river general service launch "RK-2091" of project 376 with a high-speed 3D6 engine (without silicone damper) with a geared transmission of power to the fixed pitch propeller. For calculation of torsion vibrations, the traditional method developed by Terskikh V.P. was applied, and the certified strain gauge complex "Astech Electronics" was used for the measurements. As a result of the study, it was determined that for the vessel "RK-2091" the stresses from torsion vibrations do not exceed those allowed by the Register rules, but when compared with the vessel "Lev Tretyakov" with a similar 3D6 engine, there are higher stresses in the engine crankshaft. The study suggests that the long-term operation of a vessel with a main engine without a damper and without periodic torsiography (which is usually done to diagnose the technical condition of the dampers or, in cases of replacement of shaft line components, specified by the Register ) can lead to increased stresses in the shaft lines and eventually - to exceedance of the permissible values.

**Keywords:** torsion vibrations, silicone damper, ship power plants, propulsion system.

**Введение**

По мнению специалистов: Л.В. Ефремова [1], К.О. Сергеева [2], С.Е. Чернова [3], В.В. Алексеева [4], П.А. Истомина [5] и других, наиболее сложно развиваются напряжения от крутильных колебаний в валах и элементах судовых энергетических установок (СЭУ), имеющих в своем составе среднеоборотные и высокооборотные двигатели, редукторные передачи и эластичные муфты. В частности, исследователи отмечают, что спектр крутильных колебаний в таких СЭУ состоит из сильных резонансных и, особенно, нерезонансных составляющих (которые в настоящее время мало исследуются на практике), суммарная величина которых может привести к возникновению недопустимых напряжений в материалах валов и другим проблемам – повреждению муфт, шестерен в редукторах, приводах вспомогательных механизмов и т.д. С другой стороны, опасность и сложность механизма развития крутильных колебаний для высокооборотных дизелей автомобильного и тракторного назначения, имеющих редукторные передачи, в своих работах отмечают такие специалисты, как: А.Н. Гоц [6], В.Н. Никишин [7] и другие. Следует отметить, что применение СЭУ с дизель-редукторными агрегатами и соединительными муфтами в настоящее время достаточно распространено, это относится к судам проектов 376, 1344М (разъездное речное судно); 191, 326.1, 1303 (сухогруз); 1677Т (танкер); 2004/81200, 1496 (толкач); 11005/МО (буксир), а также, к новым судам проектов RST-22, RST-25, RST-27 (танкер); RSD-44 (сухогруз) с винторулевыми колонками. При этом, ряд проектов рассмотренных судов,

например, 376 не имеют демпферов для главных двигателей, поэтому изменение крутильных колебаний при длительной эксплуатации СЭУ может вызвать возникновение высоких напряжений в валах или повреждение элементов валопровода. В связи с этим, исследование крутильных колебаний машинно-двигательных комплексов судов со сложными схемами, особенно, не имеющих в своем составе демпферов, является на сегодняшний день актуальным и необходимым.

**1. Цель исследования**

Цель проведенного исследования - оценить при помощи тензометрирования и расчетов опасность крутильных колебаний для машинно-двигательного комплекса речного разъездного судна «РК-2091» при его длительной эксплуатации.

**2. Описание объекта и методики исследования**

Речное судно «РК-2091» проекта 376 имеет длину 21 м, ширину 3,98 м, осадку 1,27 м, водоизмещение в грузу 46,9 т. В состав СЭУ входит главный двигатель 3Д6 6С2-81 (6ЧСП15/18) мощностью 110 кВт без демпфера крутильных колебаний. Данный дизель имеет номинальную частоту вращения 1500 об/мин и поэтому относится к высокооборотным двигателям. Для снижения частоты вращения и передачи мощности на гребной винт фиксированного шага используется реверс-редуктор модели СБ525-01-13 с передаточным отношением на передний ход 1:2,95 и на задний ход 1:2,18. Длина гребного вала составляет 5,95 м при диаметре 80 мм.

Демпфирование крутильных колебаний будет происходить в дизеле, редукторе, при работе

гребного винта в воде и от упругого гистерезиса в материале валов. Демпфирование от упругого гистерезиса в настоящее время не учитывается для большинства расчетов (например, согласно рекомендациям Л.В. Ефремова [1]), поскольку имеет крайне малую величину.

При расчете крутильных колебаний, проведении и обработке результатов измерений использовались общепринятая методика В.П. Терских [8] и нормативные документы Российского Речного Регистра: Правила классификации и постройки судов (ПКПС), часть IV «Энергетическая установка и системы» [9], руководство Р.009-2004 «Расчет и измерение крутильных колебаний валопроводов и агрегатов» [10].

Тензометрирование и обработка результатов измерений и расчетов производились специалистами испытательного центра «Marine Technology Service» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», имеющего свидетельство №15.00037.141 от 26.05.2015 г. об аккредитации Российским морским регистром судоходства в области крутильных колебаний. Для проведения измерений был использован сертифицированный и поверенный тензометрический комплекс «Astech Electronics» производства Великобритании. Тензометрические датчики были размещены на гребном валу в его носовой части, передача сигналов осуществлялась посредством бесконтактного радиодоступа на ноутбук со специализированным программным обеспечением «Astech Electronics».

Для расчета свободных колебаний использовался метод В.П. Терских [8], поскольку СЭУ исследуемого судна не имеет элементы в виде муфт (с нелинейным демпфированием) и не обладает сложной конструкцией. Для более сложных по составу СЭУ с соединительными муфтами, редукторами, присоединенными насосами, валогенераторами и т.д., по мнению большинства специалистов и зарубежных двигателестроительных фирм - «Роллс-Ройс», «Вяртсила» и других, следует применять современный матричный метод.

### 3. Результаты исследований

Испытания судна проводились на реке Волга, в мае 2018 года, при отсутствии волнения, на ходовом режиме с плавным повышением частоты вращения главного двигателя от 480 до 1200 об/мин на передний ход. В результате была получена тензограмма крутильных колебаний, представленная на рис. 1.

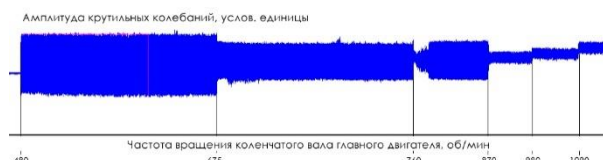


Рис. 1. Тензограмма крутильных колебаний машинно-двигательного комплекса судна «РК-2091» на ходовом режиме

Как видно из тензограммы, крутильные колебания имеют четко выраженные по амплитуде участки с протяженностью от 110 до 200 об/мин. При этом, ярких «всплесков» амплитуд на таких

участках не наблюдается, в отличие, например, от судна со среднеоборотным двигателем 6ЧРН36/45 сухогруза «Блю-Спринтер» проекта 292 [11], тензограмма которого представлена на рис. 2.

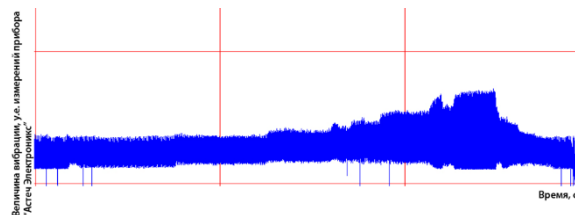


Рис. 2. Тензограмма крутильных колебаний машинно-двигательного комплекса судна «Блю-Спринтер» проекта 292

График развития частоты вращения главного двигателя судна «РК-2091» представлен на рис. 3.



Рис. 3. График развития частоты вращения главного двигателя судна «РК-2091»

В результате обработки результатов расчета и измерений крутильных колебаний была получена таблица 1, согласно которой резонансные частоты вращения для главного двигателя составили: 500 об/мин для одноузловой формы колебаний и 800, 1070 об/мин для двухузловой формы колебаний.

Таблица 1

#### Результаты расчетов и измерений крутильных колебаний машинно-двигательного комплекса судна «РК-2091» на ходовом режиме

Результаты обработки тензограмм (на передний ход судна)										
№	Форма колебаний	Порядок колеб.	Частота вращения КВ, об/мин	Частота		Амплитуда да, у.е.	Амплитуда напряж., МПа	Факт. Напряж., МПа	Доп. Напряж., МПа	Вал
				Факт.	Расчет.					
1	Одноузловая	3	500	1454	1491	860	9,54	0,30	37	Коленчатый
								3,00	37	Вед вал ред
								6,68	37	Ведом вал ред
								9,54	37	Гребной
2	Двухузловая	9	1070	9400	9607	12	0,13	21,30	32	Коленчатый
								1,30	32	Вед вал ред
								1,39	32	Ведом вал ред
								0,13	32	Гребной
3	Двухузловая	12	800	9350	9607	13	0,14	23,07	34	Коленчатый
								1,41	35	Вед вал ред
								1,51	35	Ведом вал ред
								0,14	34	Гребной

Фактические напряжения в валах не превышают допускаемых, рассчитанных по формулам Российского Речного Регистра, и составляют на частоте вращения 800 об/мин - 23 МПа или 68% относительно допускаемых напряжений, а на частоте вращения 1070 об/мин - 21,3 МПа или 67%. Следует сравнить полученные данные с результатами испытаний в 2004 году на крутильные колебания валопровода буксира «Лев Третьяков» проекта 11005/МО с аналогичным главным двигателем ЗДб, но с другим редуктором. Максимальные напряжения для буксира «Лев Третьяков» составляют 15,68 МПа или 41% от допускаемых напряжений. Отметим, что крутильные колебания перестают выделяться

специалистами как отдельные, поэтому они должны учитываться в комплексе с другими колебаниями – осевыми, поперечными и т.д. Практика измерения поперечных колебаний судового валопровода отмечена, например, в работе В.А. Мамонтова и Кушнера Г.А. [12].

### Выводы

1. Современные суда имеют тенденцию к применению в машинно-двигательных комплексах среднеоборотных и высокооборотных дизелей в комплексе с редукторами и муфтами.
2. Развитие напряжений от крутильных колебаний в таких СЭУ, особенно без установленного демпфера - процесс сложный и может привести к превышению допустимых напряжений, как в случае резонанса, так и при нерезонансных режимах.
3. Как показывает измерение крутильных колебаний для судна «РК-2091» допускаемые напряжения не были превышены, но при сравнении с судном «Лев Третьяков» с аналогичным

двигателем наблюдаются повышенные значения напряжений в коленчатом валу двигателя ЗДб.

4. На наш взгляд, учитывая стабильность величины крутильных колебаний на продолжительных участках частоты вращения коленчатого вала двигателя не только в районе резонансов, но и вне их, следует производить оценку опасности развития нерезонансных вынужденных крутильных колебаний для судов со среднеоборотными и высокооборотными двигателями, редукторами, муфтами и другими сложными элементами, что требует разработки соответствующей методики.

5. Исследование позволяет говорить о том, что, возможно, длительная эксплуатация судна с главным двигателем без демпфера и без периодического торсиографирования (которое производится обычно для диагностики технического состояния демпферов или при определенных случаях замены элементов СЭУ), может привести к росту напряжений в валах и в конечном итоге – к превышению допустимых значений.

### Литература

1. Ефремов Л.В. Теория и практика исследований крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий. - СПб.: Наука, 2007. - 276 с.
2. Ефремов Л.В., Сергеев К.О., Иванов М.Ю. Низкочастотные крутильные колебания в судовых дизель-редукторных агрегатах. Научно-техническая конференция МГТУ. – 2000.
3. Чернов С.Е. Обеспечение прочности и долговечности валопроводов речных судов при действии крутильных колебаний. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Л. 1991. – 24 с.
4. Алексеев В.В., Болотин Ф.Ф., Кортин Г.Д. Демпфирование крутильных колебаний в судовых валопроводах. Л.: Судостроение, 1973. – 279 с.
5. Истомин П.А. Крутильные колебания в судовых ЛВС: учебное пособие. - Л.: Судостроение, 1968. - 304 с.
6. Гоц А.Н. Крутильные колебания коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 200 с.
7. Никишкин В.Н., Павленко А.П. Крутильные колебания коленчатого вала автомобильного дизеля и вибрации блока цилиндров // Материалы 77-й международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». М.: МАМИ, 2012. - с. 176 – 181.
8. Терских В.П. Крутильные колебания валопроводов силовых установок. Т. 1-4. – Л.: Судостроение, 1970. – 205 с.
9. Российский Речной Регистр. Правила (в 5-ти томах). Т.3. М. 2015. – 176 с.
10. Российский Речной Регистр. Руководство Р.009-2004 «Расчет и измерение крутильных колебаний валопроводов и агрегатов». М. 2016. – 24 с.
11. Окончательное заключение по результатам торсиографирования машинно-двигательного комплекса судна «Блю Спринтер». ИЦ «Marine Technology Service» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Астрахань, 2014. – 22 с.
12. Мамонтов В.А., Кушнер Г.А., Халявкин А.А. Экспериментальное исследование параметрических колебаний валопроводов судов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2015. – № 1. – С. 21-26.

### References

1. Efremov L.V. Teorija i praktika issledovanij krutil'nyh kolebanij silovyh ustanovok s primeneniem komp'juternyh tehnologij. - SPb.: Nauka, 2007. 276 p.
2. Efremov L.V., Sergeev K.O., Ivanov M.Ju. Nizkochastotnye krutil'nye kolebanija v sudovyh dizel'-reduktornyh agregatah. Nauchno-tehnicheskaja konferencija MGTU. 2000.
3. Chernov S.E. Obespechenie prochnosti i dolgovechnosti valoprovodov rechnyh sudov pri dejstvii krutil'nyh kolebanij. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk. L. 1991. 24 p.
4. Alekseev V.V., Bolotin F.F., Kortyn G.D. Dempfirovanie krutil'nyh kolebanij v sudovyh valoprovodah. L.: Sudostroenie, 1973. 279 p.
5. Istomin P.A. Krutil'nye kolebanija v sudovyh LVS: uchebnoe posobie. L.: Sudostroenie, 1968. 304 p.
6. Goc A.N. Krutil'nye kolebanija kolenchatyh valov avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej: ucheb. posobie. Vladimir: Izd-vo Vladim. gos. un-ta, 2008. 200 p.
7. Nikishkin V.N., Pavlenko A.P. Krutil'nye kolebanija kolenchatogo vala avtomobil'nogo dizelja i vibracii bloka cilindrov // Materialy 77-j mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii AAI «Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: prioritety razvitija i podgotovka kadrov». M.: MAMI, 2012. p. 176 – 181.
8. Terskih V.P. Krutil'nye kolebanija valoprovodov silovyh ustanovok. T. 1-4. L.: Sudostroenie, 1970. 205 p.

9. Rossijskij Rečnoj Registr. Pravila (v 5-i tomah). T.3. M. 2015. 176 p.
10. Rossijskij Rečnoj Registr. Rukovodstvo R.009-2004 «Raschet i izmerenie krutil'nyh kolebanij valoprovodov i agregatov». M. 2016. 24 p.
11. Okonchatel'noe zaključenje po rezul'tatam torsiografirovanija mashinno-dvizhitel'nogo kompleksa sudna «Blju Sprinter». IC «Marine Technology Service» FGBOU VO «Astrahanskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet». Astrahan', 2014. 22 p.
12. Mamontov V.A., Kushner G.A., Khalyavkin A.A. Eksperimental'noe issledovanie parametriceskikh kolebanij valoprovodov sudov. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2015. № 1. p. 21-26.

УДК 629.5.064

## ОПЫТ МОДЕРНИЗАЦИИ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СУДОВЫХ МЕХАНИКОВ НА КАФЕДРЕ «ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА» ФГБОУ ВО «АГТУ»

**Михаил Николаевич Покусаев**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация водного транспорта»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: evt@astu.org

**Владимир Григорьевич Букин**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика и холодильные машины»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: bukinvg@mail.ru

**Николай Дмитриевич Шишкин**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика и холодильные машины»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: kaften.astu@mail.ru

**Константин Олегович Сибряев**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация водного транспорта»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: evt@astu.org

**Максим Михайлович Горбачев**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация водного транспорта»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: max9999\_9@mail.ru

### Аннотация

Статья посвящена модернизации лабораторного оборудования, предназначенного для обучения судовых механиков профильных высших учебных заведений. Подобная модернизация необходима, поскольку в судовых энергетических установках постоянно увеличивается объем внедрения систем автоматики и компьютерные технологии, что требует от выпускников высших учебных заведений новых знаний и компетенций. На примере стенда по изучению работы регулятора давления пара РДП-5А судового парового котла представлен вариант его модернизации при помощи системы компьютерного контроля параметров на базе электронных компонентов российского производства. Результаты испытаний регулятора РДП-5А при помощи традиционных средств измерения и разработанной компьютерной системы контроля отличаются не более чем на 5 процентов. Полученный в ФГБОУ ВО «АГТУ» опыт является экономически выгодным способом модернизации имеющейся материально-технической базы и получения студентами технических специальностей современных компетенций в соответствии с требованиями отечественных и международных стандартов обучения.

**Ключевые слова:** учебное оборудование, системы автоматического контроля, модернизация учебного оборудования.

## EXPERIENCE IN MODERNIZATION OF EDUCATIONAL-LABORATORY BENCHES FOR TRAINING OF SHIP MECHANICS IN THE DEPARTMENT OF "WATER TRANSPORT OPERATION", FSBEI HE "ASTU"

**Mikhail N. Pokusaev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Head of the Department of Water Transport Operation  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: evt@astu.org

**Vladimir G. Bukin**

Dr.Sci.Tech, Professor of the Department of "Heat Power Engineering and Refrigerating Machines"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: bukinvg@mail.ru

**Nikolai D. Shishkin**

Dr.Sci.Tech, Professor of the Department of "Heat Power Engineering and Refrigerating Machines"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16

e-mail: kaften.astu@mail.ru

**Konstantin O. Sibryaev**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor in the Department of "Water Transport Operation"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: evt@astu.org

**Maxim M. Gorbachev**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor in the Department of "Water Transport Operation"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: max9999\_9@mail.ru

#### Abstract

The article is devoted to the modernization of laboratory equipment intended for training ship mechanics of specialized higher educational institutions. Such modernization is necessary, because the volume of implementation of automation systems and computer technologies in ship power plants is constantly increasing, which requires new knowledge and competencies from graduates of higher educational institutions. By the example of a test bench for studying operation of the steam pressure regulator RDP-5A of a ship's steam boiler, a variant of its modernization is presented using a computer-based parameter control system based on electronic components produced in Russia. The test results of the RDP-5A regulator using traditional measuring instruments and the developed computer control system differ by no more than 5 percent. The experience gained at the FSUE of HE "AGTU" is an economically advantageous way of modernizing the existing material and technical base and obtaining modern competencies by engineering students in accordance with the requirements of national and international educational standards.

**Keywords:** educational equipment, automatic control systems, modernization of educational equipment.

#### Введение

Современное обучение судовых механиков производится согласно требованиям отечественных и международных стандартов. В основе обучения лежат требования Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несению вахты (МК ПДНВ) [1], которая разработана под эгидой Международной морской организации (ИМО) [2]. Согласно МК ПДНВ, одним из методов демонстрации компетентности, которая получена судомехаником при обучении, является подготовка с использованием лабораторного оборудования. Это компетенции в области знаний конструкции и принципов работы судового энергетического оборудования, например, в сфере «эксплуатации главных установок и вспомогательных механизмов и связанных с ними систем управления».

#### 1. Актуальность модернизации лабораторного оборудования, используемого для обучения судовых механиков

Согласно мнению многих специалистов [3-5], судовые энергетические установки постоянно совершенствуются, применяются новые механизмы, материалы и принципы эксплуатации оборудования, интенсивно происходит внедрение систем автоматики и контроля на судах. Поэтому, лабораторное оборудование профильных кафедр ВУЗов и университетов постепенно устаревает, как в конструктивном плане, так и в степени освоения компетенций, приобретаемых на нем. Радикальным выходом из данного положения является приобретение нового лабораторно-учебного оборудования, но, часто, это слишком затратный путь для образовательных организаций, который не всегда является приемлемым. Ценность уже имеющегося лабораторно-учебного

оборудования заключается в том, что оно основано на реальных судовых механизмах и системах и это позволяет приблизить условия проведения практических и лабораторных работ максимально близко к судовым условиям. Другим путем решения проблемы модернизации материально-технической базы профильных кафедр, является переоборудование лабораторно-учебного оборудования при помощи установки на нем современных систем автоматики, контроля, сигнализации и защиты.

В ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (АГТУ) на кафедре «Эксплуатация водного транспорта» в 2017 году была произведена модернизация лабораторного стенда по испытаниям распространенных регуляторов давления пара РДП-5А [6-7], которые применяются до сих пор на отечественных паровых котлах. Стенд позволял студентам проводить практические и лабораторные работы по ряду дисциплин: «Техническая эксплуатация судовых котельных и паропроизводящих установок», «Основы автоматики и теории управления техническими системами» и другим. Подобные стенды по изучению автоматики судовых котлов применяются и в МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова (г. Новороссийск), ФГБОУ ВПО «ВГАВТ» (г. Нижний Новгород), ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова (г. Санкт-Петербург), ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» и других учебных заведениях, но, в большинстве случаев, они не имеют электронных систем контроля параметров.

## 2. Модернизация лабораторного стенда автоматики судового котла

На современных судах контроль параметров паровых котлов осуществляется не только при помощи шкаловых приборов, но и при помощи датчиков [8-9] и их применение в лабораторно-учебном оборудовании позволяет студентам получить компетенции по еще одной дисциплине - «Автоматизированные системы управления судовыми энергетическими установками».

При модернизации измерительной системы лабораторного стенда на кафедре «Эксплуатация водного транспорта» АГТУ использовалась система контроля на базе компонентов фирмы «ОВЕН» (Россия), [10-13]:

- ОВЕН БП60Б-Д4-24 (БП60) блок питания на 24 В;
- ОВЕН АС4 преобразователь интерфейсов USB/RS-485;
- ОВЕН МВ110-8А, МВ110-224.8А модуль аналогового ввода;
- ОВЕН ПД100-ДИ25,0-111-1,0 преобразователь давления;
- ОВЕН ПД100-ДИ0,016-111-0,5 преобразователь давления;
- ОВЕН ПД100-ДИ1,6-111-0,5 преобразователь давления.

Подобные датчики и оборудование применяются в реальных судовых системах автоматики и контроля различных механизмов и устройств.

В состав модернизированного стенда (рис. 1) входят следующие элементы: 1 – электрический щит; 2 – верхняя часть регулятора пара; 3 – панель контрольно-измерительных приборов; 4 – манометр давления масла; 5 – кран подачи воды на сервомотор; 6 – поддон; 7 – сервомотор; 8 – стол-фундамент; 9 – регулятор давления пара; 10 – основание для масляной системы стенда; 11 – штурвал точного управления давлением масла; 12 – датчик давления масла; 13 – патрубок подачи масла на манометр и датчик; 14 – емкость для изменения уровня воды в системе; 15 – емкость для хранения масла; 16 – шкаф коммутационный.

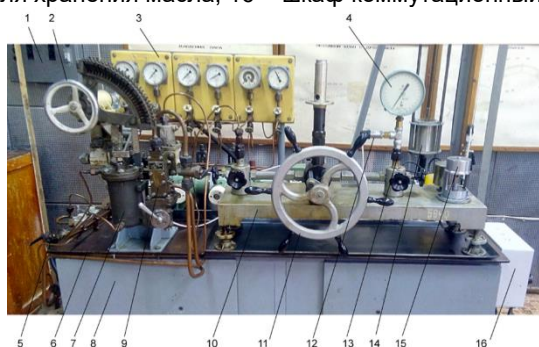


Рис. 1. Общий вид лабораторного стенда (вид спереди)

Регулятор давления пара РДП-5А совместно с рабочими элементами регулятора уровня воды в судовом котле, контрольно-измерительными приборами и обслуживающими механизмами выполнен на общем кронштейне-столе с поддонами для сбора утечек масла и воды. Давление масла имитирует давление пара в котле.

Датчики ОВЕН ПД100-ДИ моделей 111, 171, 181 представляют собой преобразователи давления с измерительной мембраной из нержавеющей стали AISI 316L, сенсором на основе технологии КНК и кабельным вводом стандарта EN175301-803 (DIN43650 А).

Данные модели характеризуются повышенной точностью измерения (от  $\pm 0,5\%$  ВПИ), устойчивостью к гидроударам и относительно низким выходным шумом (не более  $\pm 16$  мкА). Преобразователи данных моделей предназначены для систем автоматического регулирования и управления на основных и вторичных производствах в промышленности: гидро- и пневмосистемах, системах водоподготовки и теплоснабжения, котельной автоматике, автоматике водоканалов, тепловых пунктах, объектах газового хозяйства и т.п., где требуется повышенная точность и стабильность выходного сигнала [14].

На рис. 2 представлен общий вид измерительного датчика фирмы «ОВЕН».



Рис. 2. Общий вид измерительных датчиков фирмы «ОВЕН»

В коммутационном шкафу установлены следующие элементы (рис. 3): автоматический выключатель защитный; блок питания на 24 В; модуль аналогового ввода; автоматический преобразователь интерфейсов USB/RS-485.



Рис. 3. Коммутационный шкаф стенда

Для измерения перемещения штока сервомотора (что соответствует перемещению топливной рейки топочного устройства котла) используется измерительная линейка с ценой деления 1 мм и для возможности удаленного



измерения был применен резистор, установленный на поворотной части регулятора (рис. 4).



Рис. 4. Измерение перемещения штока сервомотора

Один из манометров, измеряющий давление воды на выходе из сервомотора был заменен на измерительный датчик. Для регистрации уровня воды в системе также был установлен измерительный датчик согласно рис. 5.



Рис. 5. Датчик давления для измерения уровня воды в U трубке

Для регистрации параметров стенда используется ноутбук с соответствующим программным обеспечением (рис. 6).

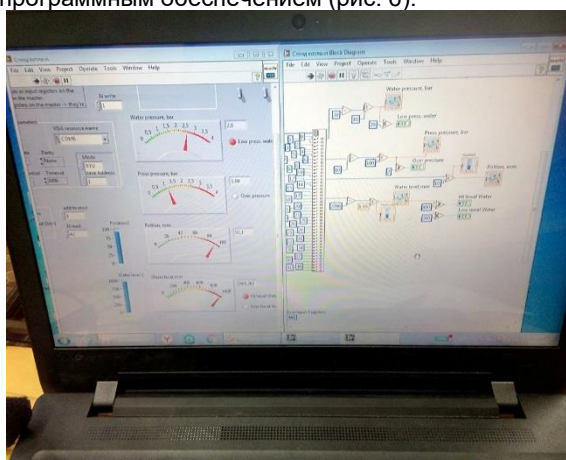


Рис. 6. Ноутбук для регистрации параметров стенда

С 2017 года на модернизированном стенде в рамках практических и лабораторных работ для студентов специальности «Эксплуатация судовых энергетических установок» снимались характеристики регулятора давления пара РДП-5А, как по штатным шкаловым приборам, так и при помощи электронной системы управления (таблица 1 и рис. 7).

Таблица 1  
Результаты испытаний регулятора давления РДП-5А

Параметр	Номер замера				
	№1	№2	№3	№4	№5
Дав. воды в системе по маном., кг/см <sup>2</sup>	1,10				
Дав. воды по дат., кг/см <sup>2</sup>	1,05				
Раз. по показ., %	4,76				
Дав. масла по маном., кг/см <sup>2</sup>	0,50	0,90	1,00	1,50	2,00
Дав. масла по дат., кг/см <sup>2</sup>	0,52	0,91	1,05	1,55	2,04
Раз. по показ., %	3,85	1,10	4,76	3,23	1,96
Ур. воды по диф. маном., мм.вод.ст.	550,00				
Ур. воды по дат., мм.вод.ст.	570,00				
Раз. по показ., %	3,51				
Пол. рейки по лин., мм	15,00	14,00	13,50	13,00	12,00
Пол. рейки по дат., мм	15,50	14,50	14,20	13,20	12,40
Раз. по показ., %	3,23	3,45	4,93	1,52	3,23

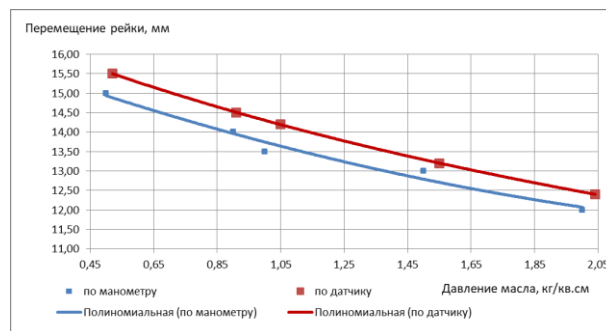


Рис. 7. Результаты испытаний регулятора давления РДП-5А

В настоящее время на кафедре «Эксплуатация водного транспорта» ФГБОУ ВО «АГТУ» производится установка системы контроля параметров на базе оборудования фирмы «ОВЕН» для судовой рулевой машины Р01 [15].

**Выводы**

Применение подобной модернизации лабораторно-учебного оборудования является более экономически выгодным, чем разработка или приобретение новых стендов, принципы

работы которых, фактически не меняются, а использование электронных систем регистрации параметров позволяет производить лабораторные и практические работы, как с имитацией местного, так и удаленного поста управления.

**Литература**

1. Международная конвенция ПДНВ о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты. London.: «CPI Books Limited», 2011. – 425 с.
2. Международная морская организация. Официальный веб-сайт. [Электронный ресурс]: <http://www.imo.org>
3. Берке Е.В. Системы автоматики и контроля СЭУ и их эксплуатация: Курс лекций. - Ростов: ЛаПО, 2003. - 75 с.
4. Самойленко А.Ю. Электронные и микропроцессорные средства судовых систем управления: Учебное пособие. – Новороссийск: НГМА, 2002. – 164 с.
5. Попов, Г.А. Системы управления судовыми дизелями : тексты лекций / Г. А. Попов; Федер. агентство мор. и реч. трансп., Гос. мор. akad. им. адм. С.О. Макарова. - СПб., 2005. – 78 с.
6. Регулятор давления пара РДП-5А. Техническое описание и инструкции по эксплуатации. 61-12.02-000/11 ТО, 1977. – 46 с.
7. Одноимпульсный регулятор уровня для вспомогательных котлов. Ф 419-76.5.7, 1976. – 20 с.
8. Гаврилов С.В. Судовые котельные и паропроизводящие установки. Методические указания к практическим занятиям. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2005. – 106 с.
9. Денисенко Н.И., Костылев И.И. Судовые котельные установки. Учебник для Вузов. - Спб.: Элмор, 2005. - 281 с.
10. Одноканальный блок питания ОВЕН БП. Руководство по эксплуатации. АРАВ.436534.013 РЭ., 2018. – 8 с.
11. ОВЕН АС4. Руководство по эксплуатации. АРАВ.426449.003 РЭ, 2018. – 26 с.
12. ОВЕН МВ110-224.8А. Модуль аналогового ввода. Руководство по эксплуатации. АРАВ.421459.002-05 РЭ, 2018. – 80 с.
13. ПД100-ДИ. Руководство по эксплуатации. Преобразователь избыточного давления измерительный, 2018. – 34 с.
14. Каталог оборудования «ОВЕН». 2018. – 451 с.
15. Черепанов Б.Е. Судовые вспомогательные и промысловые механизмы, системы и их эксплуатация. - М., Агропромиздат, 1986. – С. 326-334.

**References**

1. Mezhdunarodnaja konvencija PDNV o podgotovke i diplomirovanii morjakov i nesenii vahty. London.: «CPI Books Limited», 2011. 425 p.
2. Mezhdunarodnaja morskaja organizacija. Website. <http://www.imo.org>
3. Berke E.V. Sistemy avtomatiki i kontrolja SJeU i ih jekspluatacija: Kurs lekcij. - Rostov: LaPO, 2003. 75 p.
4. Samojlenko A.Ju. Jelektronnye i mikroprocessornye sredstva sudovyh sistem upravlenija: Uchebnoe posobie. Novorossijsk: NGMA, 2002. 164 p.
5. Popov G.A. Sistemy upravlenija sudovymi dizeljami: teksty lekcij. Feder. agentstvo mor. i rech. transp., Gos. mor. akad. im. adm. S.O. Makarova. SPb., 2005. 78 p.
6. Reguljator davljenija para RDP-5A. Tehniceskoe opisanie i instrukcii po jekspluatacii. 61-12.02-000/11 TO, 1977. 46 s.
7. Odnimpul'snyj reguljator urovnja dlja vspomogatel'nyh kotlov. F 419-76.5.7, 1976. 20 p.
8. Gavrilov S.V. Sudovye kotel'nye i paroproizvodjashhie ustanovki. Metodicheskie ukazanija k prakticheskim zanjatijam. Petropavlovsk-Kamchatskij: KamchatGTU, 2005. 106 p.
9. Denisenko N.I., Kostylev I.I. Sudovye kotel'nye ustanovki. Uchebnik dlja Vuzov. Spb.: Jelmor, 2005. 281 p.
10. Odnokanal'nyj blok pitaniija OVEN BP. Rukovodstvo po jekspluatacii. ARAV.436534.013 RJe., 2018. 8 p.
11. OVEN AS4. Rukovodstvo po jekspluatacii. ARAV.426449.003 RJe, 2018. 26 p.
12. OVEN MV110-224.8A. Modul' analogovogo vvida. Rukovodstvo po jekspluatacii. ARAV.421459.002-05 RJe, 2018. 80 p.
13. PD100-DI. Rukovodstvo po jekspluatacii. Preobrazovatel' izbytochnogo davljenija izmeritel'nyj, 2018. 34 p.
14. Katalog oborudovanija «OVEN». 2018. 451 p.
15. Cherepanov B.E. Sudovye vspomogatel'nye i promyslovyje mehanizmy, sistemy i ih jekspluatacija. M.: Agropromizdat, 1986, pp. 326-334.

УДК 629.123

**АНАЛИЗ ПЛАНОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ СУДОВ****Ибрагим Мусаевич Абачараев**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

e-mail: abacharaev@yandex.ru

**Владимир Григорьевич Букин**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика и холодильные машины»

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

e-mail: bukinvg@mail.ru

**Михаил Николаевич Покусаев**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация водного транспорта»

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

e-mail: pokusaev@astu.org

**Герман Александрович Тактаров**

доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Финансы и учет»

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

e-mail: finans@astu.org

**Алексей Викторович Трифонов**

ассистент кафедры «Эксплуатация водного транспорта»

Астраханский государственный технический университет

414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

e-mail: trifonov91@inbox.ru

**Аннотация**

Статья посвящена исследованию практики применения программ энергосбережения и защиты окружающей среды на водном транспорте. В статье представлены результаты анализа планов управления энергоэффективностью судов различного назначения российских и иностранных судоходных компаний. В статье приведены выявленные недостатки в организации системы по снижению выбросов парниковых газов с судов. Сделан вывод, что в существующем виде система разработки планов управления энергоэффективностью судов требует корректировки. При рассмотрении планов было также отмечено, что при составлении планов преобладает формальный подход к их содержанию, перечисленные мероприятия не имеют никакого подробного рассмотрения и обоснования с технической и экономической точки зрения, никак не учитываются тип судна и его конструктивные особенности, складывается впечатление, что ПУЭС делается не для достижения реальных целей, а для отчёта перед контролирующими органами, из предыдущего пункта вытекает, что в ПУЭС вообще нет привязки к конкретному судну. Отмечено, что при соблюдении ряда условий применение регулируемого привода в системе охлаждения судового двигателя может повысить её энергоэффективность. Это означает экономию топливных ресурсов и, как следствие, снижение объемов парниковых выбросов в атмосферу. Включение подобных мероприятий в планы управления энергоэффективностью судов рекомендуется для реализации.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, план управления энергоэффективностью судна, конструктивный коэффициент энергоэффективности судна, частотно-регулируемый привод.

**ANALYSIS OF THE MANAGEMENT PLANS FOR ENERGY EFFICIENCY OF SHIPS****Ibrahim M. Abacharaev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Professor of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering

Astrakhan State Technical University

414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16

e-mail: abacharaev@yandex.ru

**Vladimir G. Bukin**

Dr.Sci.Tech, Professor of the Department of "Heat Power Engineering and Refrigerating Machines"

Astrakhan State Technical University

414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16

e-mail: bukinvg@mail.ru

**Mikhail N. Pokusaev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Head of the Department of Water Transport Operation

Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: pokusaev@astu.org

**German A. Taktarov**

Dr.Sci.(Economics), Professor, Professor of the Department of "Finance and Accounting"

Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: finans@astu.org

**Alexey V. Trifonov**

Assistant of the Department "Operation of Water Transport"

Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: trifonov91@inbox.ru

### Abstract

The article is devoted to the study of the practice of using energy saving and environmental protection programs in water transport. The article presents the results of the analysis of energy efficiency management plans for various purpose vessels of Russian and foreign shipping companies. The article presents the identified deficiencies in the organization of the system to reduce greenhouse gas emissions from ships. It was concluded that, in its current form, the system for developing plans for managing energy efficiency of ships requires adjustment. When reviewing plans, it was also noted that the formal approach to their content prevails in the preparation of plans, the listed measures have no detailed consideration and justification from a technical and economic point of view, the type of vessel and its design features are not taken into account, it seems that energy efficiency management plans are made not for the achievement of real goals, but for reporting to the regulatory authorities, it follows from the previous paragraph that the energy efficiency management plans are not linked to a specific ship at all. It is noted that under certain conditions, the use of a variable-speed drive in the cooling systems of a ship's engine can increase its energy efficiency. This means saving fuel resources and, as a result, reducing greenhouse gas emissions. The inclusion of such measures in the energy efficiency management plans for ships is recommended for their implementation.

**Keywords:** energy efficiency, ship energy efficiency management plan, designed coefficient of ship energy efficiency, variable frequency drive.

### Введение

Водный транспорт является одним из основных потребителей органического топлива, сжигание которого приводит к существенному загрязнению окружающей среды (5,3% от общего объема загрязнения всеми видами транспорта).

Стремление к уменьшению негативного влияния указанных факторов стало основой технической политики в большинстве развитых стран мира, направленной на разработку и реализацию обширных программ энергосбережения и защиты окружающей среды.

В соответствии с Резолюцией ИМО (International maritime organization) МЕРС.203 (62) введены поправки к Приложению VI МАРПОЛ по техническим мерам сокращения выбросов парниковых газов с судов, установлены два основных требования:

- для каждого нового судна валовой вместимостью 400 регистровых тонн и более должны быть определены требуемый и допустимый конструктивные коэффициенты энергетической эффективности (ККЭЭ);

- на каждом новом или существующем судне валовой вместимостью 400 и более тонн должен иметься и выполняться судовой план управления энергоэффективностью судна (ПУЭС).

### 1. Постановка задачи исследования

Цель внедрения ПУЭС - установить процедуры и мероприятия, реализация которых на судне приведёт к снижению выбросов парникового газа. Снижение выбросов напрямую зависит от

количества сжигаемого топлива. Поэтому мероприятия из ПУЭС должны были быть направлены на снижения его расхода.

Для того чтобы составить ПУЭС, необходимо включить в него мероприятия, выполнение которых улучшит состояние энергопотребления на судне. Чтобы составляемый план был более подходящим объективным и осуществимым необходима некая предварительная оценка этих мероприятий.

ПУЭС преследует целью повышение энергоэффективности судна посредством четырех мер: планирования, осуществления, мониторинга, а также самооценки и усовершенствования. Четыре обязательных раздела ПУЭС называются также.

Необходимо рассмотреть примеры ПУЭС судов различного назначения, чтобы оценить результативность от их внедрения на судах.

### 2. Результаты исследования

Были рассмотрены ПУЭС 40 судов различного назначения российских и некоторых иностранных судоходных компаний (таблица 1). Также были рассчитаны значения ККЭЭ для этих судов. ККЭЭ должен быть обязательно рассчитан только для судов построенных после 2013 года, но этот критерий удобно использовать для сравнения разных типов судов.

ККЭЭ имеет следующий физический смысл – это отношение количества произведенного парникового газа CO<sub>2</sub> к величине транспортной работы судна:

$$ККЭЭ = \frac{P \cdot SFC \cdot C_F}{Capacity \cdot V} \left[ \frac{г}{Т \cdot \text{миля}} \right] \quad (1)$$

,где Р – мощность двигателей судовой энергетической установки, кВт;

SFC – удельный расход топлива, г/(кВт·ч);

C<sub>F</sub> – коэффициент выбросов CO<sub>2</sub>, T<sub>CO2</sub>/T<sub>топлива</sub>;

Saracity – дедевейт для грузовых судов (или валовая вместимость для пассажирских судов), т;

V – скорость судна, узлы.

Снижение удельных расходов топлива судовой энергетической установки за счёт более рационального использования располагаемых энергоресурсов, автоматически сокращает величину выбросов в атмосферу.

Таблица 1

Перечень рассмотренных ПУЭС судов

№	Название	ИМО №	Год постройки	ККЭЭ
1.	ВТС - 1	8811649	1988	25,5
2.	ОМСКИЙ-207	9132363	1995	19,0
3.	АКТАУ	9344459	2006	17,1
4.	SIRVAN	7912173	1982	67,7
5.	ИЗЫСКАТЕЛ Ъ-2	8721820	1988	97,4
6.	НЕПТУН	9590010	2015	234,4
7.	СИБИРСКИЙ -2101	8862284	1980	13,8
8.	ANDOQA	8119118	1983	109,4
9.	СМ.SUPPORTER	7392634	1974	148,3
10.	CMS SEMA	9066057	1993	26,0
11.	ALI AMIROV	7509093	1977	41,8
12.	DBA AZERBAIJAN	7604374	1980	32,9
13.	АЛЕКСАНДР ШЕМАГИН	9612909	2012	25,9
14.	SAVIT ORUJOV	8128171	1983	101,1
15.	АКАДЕМИК ТОФИК ИЗМАЙЛОВ	8521048	1989	93,7
16.	БУКСИР ОТ-2445 «БИЗОН»	8685947	1988	144,5
17.	ВЕПРЬ	8892021	1986	144,5
18.	ВИКИНГ	7511527	1976	231,1
19.	ВЛАДИМИР РУСАНОВ	9056868	1994	25,6
20.	ВФ ТАНКЕР-12	9645011	2012	26,2
21.	ГРИГОРИЙ БУГРОВ	8848628	1974	13,9
22.	AVIOR	8844139	1985	19,4
23.	ГЕЛИОС	8711916	1987	20,2
24.	АКАДЕМИК ФЁДОРОВ	8519837	1987	14,6
25.	МЕХАНИК ЯРЦЕВ	8904367	1990	39,6
26.	КОМПОЗИТОР РАХМАНИНОВ	8606616	1986	37,7
27.	АТАМОГЛАН КЕРИМОВ	8613750	1988	82,3
28.	МЕХАНИК ХАРИТОНОВ	9630975	2011	24,3

№	Название	ИМО №	Год постройки	ККЭЭ
29.	СТАВРОПОЛЬЕ	8230522	1982	14,9
30.	СУРГУТ	9119361	1994	21,5
31.	ЭПРОН	8135007	1983	180,1
32.	ADALYAT GYULMAME DOV	8857502	1984	205,8
33.	SHOLLAR	7427180	1976	60,1
34.	VAGIF JAFAROV	8207214	1986	68,0
35.	ZULFI HAJIYEV	7912161	1982	72,9
36.	ATLET-5	8507418	1986	65,8
37.	РОСТОВ ВЕЛИКИЙ	9289001	2003	21,4
38.	USEYIR HAJIBEYLI	9528146	2010	22,5
39.	ВОЛГА-35	9133197	1995	20,1
40.	КАЛЛИОПЕ	9540302	2010	25,5

В рассмотренных ПУЭС сохранена структура из Руководства по разработке плана управления энергоэффективностью судна, разработанного ИМО, но при этом недостаточно раскрыты разделы касательно планирования и мониторинга.

Планирование является наиболее важным этапом ПУЭС, так как главным образом определяет, текущее состояние энергопотребления судна, так и предполагаемое повышение его энергоэффективности. В ПУЭС перечисленных судов не уделено достаточное время планированию, чтобы разработать наиболее подходящий, эффективный и осуществимый план.

В рассмотренных ПУЭС практически без изменений перечислены меры повышения энергоэффективности из Руководства по разработке ПУЭС, разработанного ИМО.

Это означает, что, как инструмент, направленный на повышение энергоэффективности и уменьшение выбросов углекислого газа с судов, ПУЭС имеет определённые недостатки.

Среди мер по повышению эффективности расхода энергоресурсов в рассмотренных ПУЭС не были включены способы по оптимизации работы судовых систем.

Резерв для повышения энергоэффективности можно найти в экономичном регулировании систем судовых энергетических установок (СЭУ). Для повышения объективности ПУЭС рекомендуем включать в них перечень мероприятий касающихся модернизации систем охлаждения.

Влияние колебаний температуры на режим работы СЭУ обычно компенсируется перепуском части пресной воды термостатическим клапаном мимо теплообменников, что является неэкономичным способом регулирования. Недостатки обводного способа управления расходом жидкости в системе проявляются при глубоких и частых изменениях возмущающих воздействий, в частности температуры забортной воды. Такая ситуация имеет место при эксплуатации судна в условиях различных климатических зон. Насосы для инженерных систем судов неограниченного района плавания

обычно проектируют на температуру +32°C и стопроцентную нагрузку. На практике оборудование не так часто работает в таких условиях, особенно суда, которые большую часть времени проводят в умеренных широтах.

Оптимизация режима работы теплообменников, эксплуатируемых в различных климатических условиях, может быть достигнута за счет частотного регулирования производительности электрических насосов системы охлаждения двигателей. Мощность, потребляемая системой электродвигатель – насос, зависит от частоты вращения насоса примерно в третьей степени. Поэтому в заданном диапазоне изменения возмущающих воздействий затраты электроэнергии при частотном управлении электродвигателями насоса будут всегда меньше, чем при перепуске.

Если регулировать расход воды, изменяя частоту вращения этого насоса, то можно достигнуть экономии энергии и снижения топливных затрат. Насос с модернизированным электродвигателем может работать в долевых режимах, с пониженным энергопотреблением в случаях, когда температура забортной воды меньше проектной. Таким образом, экономия на электроэнергии, которую на судне вырабатывает дизельгенератор, напрямую сокращает расход дизельного топлива.

В ходе экспериментов, проводимых компанией Grundfos и датских судоходных линий Lauritzen Bulkera, было выявлено: энергосберегающие насосы, стоящие в системе охлаждения двигателя позволяют экономить от 35 до 500 тысяч долларов в год на топливе [2].

Компания Dampskibsselskabet NORDEN A/S на 17 грузовых судах модернизировала насосы для морской воды, установив частотно-регулируемые приводы Danfoss [3]. Регулирование мощности насосов в соответствии с фактической потребностью привело к значительному снижению энергопотребления. Экономия составила около 30 тысяч долларов в год на каждом судне, где были установлены частотные преобразователи [4].

Для систем СЭУ, в которых насосы имеют привод от коленчатого вала двигателя, также характерен недостаток, заключающийся в том, что расход воды циркуляционного насоса внешнего контура не изменяется при изменении температуры забортной воды [1]. Также не изменяется потребляемая насосом мощность.

Если регулировать расход воды, изменяя частоту вращения насоса, то можно достигнуть экономии энергии и снижения топливных затрат. Модернизированный (навешенный на двигатель) насос с установкой устройства для изменения частоты вращения и передаваемой от двигателя мощности может работать с пониженным энергопотреблением в случаях, когда температура забортной воды меньше проектной. Таким образом, это напрямую сокращает расход дизельного топлива [5].

Применение замкнутых одноконтурных систем охлаждения также повышает энергоэффективность судов. Такие системы охлаждения имеют один контур пресной воды, а теплообмен с забортной водой осуществляется через погружные теплообменные аппараты [6]. Преимуществом замкнутой системы охлаждения над традиционной является отсутствие насоса забортной воды, который потребляет 0,5 – 2 % от мощности главного двигателя. За счет отказа от прокачки забортной воды необходимой для охлаждения главных и вспомогательных двигателей, появляется возможность снижения потребления топлива СЭУ.

#### Выводы

По рассмотренным планам были также сделаны следующие выводы:

- при составлении планов преобладает формальный подход к их содержанию;
  - перечисленные мероприятия не имеют никакого подробного рассмотрения и обоснования с технической и экономической точки зрения;
  - никак не учитываются тип судна и его конструктивные особенности;
  - складывается впечатление, что ПУЭС делается не для достижения реальных целей, а для отчёта перед контролирующими органами;
  - из предыдущего пункта вытекает, что в ПУЭС вообще нет привязки к конкретному судну.
- В существующем виде система разработки ПУЭС требует корректировки. По проведённому анализу сделан общий вывод: при соблюдении ряда условий применение регулируемого привода в СО судового двигателя может повысить её энергоэффективность. Это означает экономию топливных ресурсов и, как следствие, снижение объемов парниковых выбросов в атмосферу. Включение подобных мероприятий в ПУЭС рекомендуется для реализации.

#### Литература

1. Жуков, В.А. Перспективы совершенствования систем охлаждения судовых дизелей // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2015. – № 4 (32). – С. 131-137.
2. GRUNDFOS поможет судовладельцам экономить до полумиллиона долларов на каждом корабле [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ru.grundfos.com/about-us/news-and-press/news/marina-economy.html>. — Загл. с экрана.
3. Dampskibsselskabet NORDEN A/S saves energy on seawater pumps with frequency converters [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/D4FE392A-EE30-4BAB-8265-3ABBF48AA021/0/DSNordenDKDDPC206A102.pdf>.—Загл. с экрана.
4. Drive solutions for Marine & Offshore [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www2.solar.dk/Download/danfoss\\_marine\\_seminar\\_2014/](http://www2.solar.dk/Download/danfoss_marine_seminar_2014/). — Загл. с экрана.
5. Трифонов, А.В. Анализ способов повышения энергоэффективности насосов систем охлаждения судовых двигателей / А.В. Трифонов, М.Н. Покусаев. — Новосибирск: Наука, «Научные проблемы транспорта Дальнего востока и Сибири». - 2018. - №1. — С.122-126.

6. Железняк А.А., Ениватов В.В., Масленников А.А. Метод повышения энергетической эффективности теплоотвода замкнутой системы охлаждения в неопределенных условиях эксплуатации судна // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2016. – № 1. – С. 60-70.

#### References

1. Zhukov V.A. Perspektivy sovershenstvovaniya sistem ohlazhdeniya sudovyh dizelej. Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2015. № 4 (32). p. 131-137.
2. GRUNDFOS pomozhet sudovladel'cam ehkonomit' do polumilliona dollarov na kazhdom korable [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://ru.grundfos.com/about-us/news-and-press/news/marina-economy.html>. Zagl. s ehkrana.
3. Dampskibsselskabet NORDEN A/S saves energy on seawater pumps with frequency converters [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.danfoss.com/NR/rdoonlyres/D4FE392A-EE30-4BAB-8265-3ABBF48AA021/0/DSNordenDKDDPC206A102.pdf>. Zagl. s ehkrana.
4. Drive solutions for Marine & Offshore [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: [http://www2.solar.dk/Download/danfoss\\_marine\\_seminar\\_2014/](http://www2.solar.dk/Download/danfoss_marine_seminar_2014/). Zagl. sehkrana.
5. Trifonov, A.V. «Analiz sposobov povysheniya ehnergoehffektivnosti nasosov sistem ohlazhdeniya sudovyh dvigatelej» / A.V. Trifonov, M.N. Pokusaev. Novosibirsk: Nauka, «Nauchnye problemy transporta Dal'nego vostoka i Sibiri». 2018. №1 p.122-126.
6. Zheleznyak A.A., Enivatov V.V., Maslennikov A.A. Metod povysheniya ehnergeticheskoj ehffektivnosti teplootvoda zamknutoj sistemy ohlazhdeniya v neopredelennyh usloviyah ehkspluatacii sudna. Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2016. № 1. p. 60-70.

**УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

УДК 656.614.3

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИТОРСКИХ КОМПАНИЙ  
АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ, СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ НА МОРСКИХ  
ПЕРЕВОЗКАХ****Елена Георгиевна Ильина**

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Эксплуатация водного транспорта»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: ilyinaeg@mail.ru

**Олег Петрович Ковалёв**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Товароведение, холодильные машины и технологии»

Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт  
141821, Московская область, Дмитровский р-н, пос. Рыбное, 36  
e-mail: kovalev47@mail.ru

**Герман Александрович Тактаров**

доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Финансы и учет»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: finans@astu.org

**Аннотация**

Статья описывает эффективность работы транспортно-экспедиционных компаний (ТЭК) Астраханской области, специализирующихся на морских перевозках. Оригинальность статьи заключается в том, что в ней приведен анализ рынка транспортных услуг и дана оценка различных факторов на эффективность работы ТЭК. Материалы позволяют оценить значение деятельности ТЭК, специализирующихся на морских перевозках и наметить перспективы их развития. Предложена система критериев для оценки эффективности работы ТЭК. По этим критериям на основании опроса сотрудников было сформировано представление об уровне развития ТЭК. Для проведения опроса была составлена анкета экспертной оценки. На основании проведенных исследований отмечено что, приоритетное влияние на эффективность работы компании имеют стоимость и качество оказываемых услуг, а так же степень оперативности решений и учет рыночной конъюнктуры. Уровень организации и управления занимает 3 место по приоритетам. Сотрудники называют важными факторами также взаимоотношение со смежными организациями, местными надзорными органами власти.

**Ключевые слова:** транспортно-экспедиционная компания, эффективность работы, критерии оценки, морские перевозки, матрица услуг, рынок транспортных услуг, экспертный опрос.

**ANALYSIS OF DIFFERENT FACTORS EFFECT ON THE EFFICIENCY OF  
ACTIVITY OF TRANSPORT-FORWARDING COMPANIES OF ASTRAKHAN  
AREA SPECIALIZING ON MARINE TRANSPORT OPERATIONS****Elena G. Ilyina**

Ph.D. in Economics, Associate Professor of the Department of "Operation of Water Transport"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: ilyinaeg@mail.ru

**Oleg P. Kovalev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Head of the Department of "Merchandise, Refrigeration Machines and Technologies"  
Dmitrovsky Fisheries Technological Institute  
141821, Moscow region, Dmitrovsky district, vil. Ribnoye, 36  
e-mail: kovalev47@mail.ru

**German A. Taktarov**

Dr.Sci.(Economics), Professor, Professor of the Department of "Finance and Accounting"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: finans@astu.org



### Abstract

The article describes the efficiency of transport and forwarding companies (TFC) of the Astrakhan region, specializing in maritime transport. Distinction of the article lies in the fact that it contains an analysis of the transport services market and an assessment of various factors on the efficiency of TFC operations. The materials make it possible to assess the significance of the activities of TFC specializing in maritime transport and outline the prospects for their development. A system of criteria for evaluating the performance of TFC is proposed. According to these criteria, based on a survey of employees, an idea of the level of development of TFC was formulated. An expert evaluation questionnaire was compiled for the survey. On the basis of the research, it was noted that the priority and impact on the performance of the company have the cost and quality of services provided, as well as the degree of efficiency of decisions and accounting for market conditions. The level of organization and management takes 3rd place in priorities. Employees refer to relationships with related organizations, local supervisory authorities as important factors as well.

**Keywords:** freight forwarding company, work efficiency, assessment criteria, sea transportation, service matrix, transport services market, expert survey

### Введение

Транспортно-экспедиторское обслуживание является неотъемлемой частью процесса транспортировки грузов. Транспортно-экспедиторские компании (ТЭК) в качестве оператора перевозки организуют перевозку грузов от производителя до потребителя, что является чрезвычайно сложным процессом, недаром экспедиторов иногда называют «архитекторами транспорта».

Для нормального функционирования и развития компании требуется высокое качество обслуживания грузовладельцев, соблюдение особых международных правил, точное исполнение условий контракта, предписаний клиентов, перевозчиков, банков, страховщиков, соблюдение таможенных и государственных законов.

#### 1. Цели и задачи исследования

Для объективной оценки степени влияния различных факторов на эффективность работы ТЭК было проведено данное исследование. Задачей исследования было раскрыть представления специалистов ТЭК различного уровня о степени влияния различных факторов на эффективность работы компании.

Существующий рост объемов перевозок вовсе не исключает острой конкуренции среди транспортно-экспедиторских компаний и именно в условиях такой жесткой конкуренции правильная кадровая политика становится одним из главных факторов успешной работы компании.

ТЭК различаются по роду деятельности и по форме организации. По роду деятельности это могут быть чистые посредники и предприятия, владеющие транспортом, контейнерами, погрузочной техникой, складами, производственной базой по упаковке, маркировке, подработке товара и т.п. По организационным принципам ТЭК делятся на фирмы, общества, комбинаты, предприятия, объединения и союзы с разной степенью ответственности и специализированные по отдельным операциям и по осуществлению полного комплекса транспортно-экспедиционных услуг на всем протяжении товародвижения. Обычно ТЭК – это крупная компания, имеющая свои транспортные средства, складские и терминальные площади, специальное оборудование. Вместе с тем

существуют средние и малые компании, которые работают на узком и очень узком сегментах рынка.

Обобщенный перечень услуг, предоставляемых ТЭК, включает:

- заключение договора перевозки и взаимодействие с отправителем, получателем;
- организацию перевозки, агентского и экспедиционного обслуживания;
- организацию работ по контролю над перевозкой;
- обеспечение страхования груза;
- организацию таможенного сервиса;
- организацию сопровождения грузов;
- организацию консолидации (объединение грузов нескольких разных отправителей для последующей их транспортировки одним транспортом) и деконсолидации (разделение грузовых отправок, прибывших на одном транспортном средстве, по направлениям дальнейшего следования.) груза;
- оформление перевозочных документов;
- организацию технического и технологического обслуживания транспортных средств, транспортного оборудования и средств механизации;
- организацию расчетов и взаиморасчетов с участниками перевозочного процесса;
- расчет себестоимости перевозки по маршрутам.

#### 2. Материал исследования

В поле нашего исследования попали 12 транспортно-экспедиторских компаний, работающих на территории Астрахани и Астраханской области.

1. ООО «Судоходная компания «Акватория».

Деятельность: предоставление услуг по буксировке судов и агентированию, а также морской и речные перевозки в Астрахани.

2. ООО «Морское агентство «Река-Море».

Деятельность:

- агентирование флота любого типа, класса, флага, формы собственности в портах Ростов-на-Дону и Азов;
- транспортная экспедиция - услуги по доставке внешнеторговых грузов от поставщика до потребителя на всем пути их следования в морском, река-море и речном сообщении;
- брокерские услуги при заключении договоров морской и речной перевозки, а также

непосредственно услуги по организации перевозок грузов водным транспортом;

– буксировка объектов любой сложности на участках Азов, Ростов-на-Дону, Астрахань, Санкт-Петербург и по Азово-Донскому и Волго-Донскому каналам;

– крюинговые услуги;

– материально-техническое обеспечение всех типов судов.

3. ЗАО «Астраханский морской порт» входит в Группу компаний «Совфрахт-Совмортранс».

Деятельность: агентирование грузов; перевалка бумажно-целлюлозной продукции, металлов и изделий из них, пиломатериалов; снабжение судов продовольствием, бункером, пресной водой, приём с судов сточных и нефтесодержащих вод, сухого мусора и пищевых отходов; ремонт оборудования и водолазный осмотра судна.

В границах морского порта Астрахань осуществляют свою деятельность более 100 хозяйствующих субъектов (стивидорные, агентировавшие, бункеровочные, сюрвейерские компании, судостроительные и судоремонтные предприятия и пр.). Основными предприятиями, эксплуатирующими причальный фронт различного назначения, являются:

– ООО «СК «Стрелецкое»;

– ОАО «Грузовая компания «Армада»;

– ОАО «Волгомост» филиал «Мостоотряд № 83»;

– ОАО «Астраханский порт»;

– ООО «Астраханский порт «Развитие»;

– ООО ПКФ «Волга – Порт»;

– ООО «Астраханский зерновой терминал»;

– ООО «Альфа – Порт»;

– ЗАО «Астраханский морской порт»;

– ООО ПФ «ВТС – Порт»;

– ООО «Лукойл-Нижневожскнефтепродукт»;

– ЗАО «Природоохранный комплекс «ЭКО+»;

– ООО «Финвестторг».

4. Транспортно-логистическая компания ЗАО «Panalpina World Transport».

Деятельность: железнодорожные перевозки; авиаперевозки, морские и речные перевозки; грузовые автоперевозки; таможенное оформление, брокерские услуги. Имеет филиал в городе Астрахань

5. «Транспортно-экспедиторская фирма ООО «Лакор».

Деятельность: экспедирование, перевалка и хранение грузов в порту; разработка оптимальной транспортной схемы перевозки грузов; морские, речные перевозки; агентирование морских судов; декларирование и оформление внутреннего таможенного транзита; предоставление контейнерного парка под перевозку грузов; выпуск коносаментов ФИАТА и другие, необходимые для организации перевозок, услуги. Имеет филиал в городе Астрахань

6. ООО «Волго-Дон Сервис», агентировавшая компания.

Деятельность: агентирование морских судов; экспедирование грузов; фрахтование морских судов.

7. ООО «Ист Шиппинг».

Деятельность: агентирование судов, морские перевозки грузов по Каспийскому морю из портов Астрахани и в Европу из порта Санкт-Петербурга, таможенная очистка груза

8. ООО «Транспортная компания «Персеполис».

Деятельность: морские речные перевозки (специализация – металлопродукция, пиломатериалы, навалочные, контейнерные грузы, целлюлозно-бумажная продукция) на Каспийском, Азовском, Черном, Мраморном, Средиземном морях; а также транспортное экспедирование и агентирование судов в Астрахани.

9. ООО «Алброс» - транспортно-экспедиторская судоходная компания.

Деятельность: перевозка грузов водным транспортом.

10. ООО «Судоходная компания «Астрахань Обь-Иртышфлот».

Деятельность: перевозка грузов водным транспортом в Астрахани и Астраханской области (речные грузоперевозки); обслуживание судов в портах морским агентом по заказу владельца и от его имени

11. ООО «Коммерческая фирма «ДАФ».

Деятельность: агентирование судов; брокерские услуги при подборе грузов; транспортные и контейнерные перевозки, а также техническое оснащение и ремонт судов в Каспийском, Черном, Средиземном и Мраморном морях.

12. Транспортная компания «Отвозим».

Деятельность: организация морских перевозок грузов; создание логистической схемы перевозок, включая перевалку грузов при мультимодальных перевозках; таможенное оформление; организация погрузо-разгрузочных работ.

Морские перевозки по международному транспортному коридору «Север-Юг» в направлениях: Каспийское море: порты в Астрахани – порты Туркменбаши (Туркменистан), Баку (Азербайджан), Энзели, Ноушехр и Бендер-Энзели (Иран); Персидский залив: Бандар-Аббас (Иран) – порты Мина Заид в городе Абу-Даби (ОАЭ), Рашид, Джебел Али в городе Дубай (ОАЭ), порт Мамбуй (Бомбее, Индия) и в морские порты Китая.

Морские перевозки по транспортному коридору «Трасека» в направлении: Каспийское море: паромная переправа порт Баку, Азербайджан – порт Туркменбаши, Туркменистан.

В таблице 1 представлена матрица транспортных и экспедиторских услуг, которые предоставляют вышеперечисленные компании

Таблица 1

Матрица транспортных и экспедиционных услуг

Транспортно-экспедиционные компании	организация перевозки грузов	фрахтование судов	агентирование судов	экспедирование грузов	брокерские услуги	стивидорные услуги	сюрвейерские услуги	крюинговые услуги	техническое обеспечение
1. ООО СК Акватория	+	+	+					+	+
2. ООО Морское агентство «Река-Море»	+	+	+	+				+	+
3. ООО Астраханский морской порт»	+	+	+			+	+		+
4. ЗАО ТЛК Panalpina World Transport	+		+	+	+				
5. ООО ТЭФ Лакор	+	+	+	+					+
6. ООО Волго-Дон Сервис, агентирующая компания	+	+	+	+					
7. ООО Ист Шиппинг	+		+	+					
8. ООО ТФ Персеполис	+		+	+					
9. ООО ТЭК Алброс	+		+	+					
10. ООО СК Астрахань Обь-Иртышфлот,	+		+						
11. ООО КФ ДАФ	+	+	+		+				
12. ТК Отвозим	+	+	+	+		+			

**3. Результаты исследования**

По своим функциональным особенностям ТЭК может осуществлять функции транспортного агента, транспортного оператора, таможенного брокера, перевозчика, терминального предприятия, страховщика и дистрибьютора (это оптовый или розничный продавец (фирма или

предприниматель) с высокоорганизованной структурой активных продаж, владеющий эксклюзивными правами представителя определённых товаров на закреплённой территории.) товаров или услуг. Профиль компании составляет набор услуг, которые она оказывает клиенту. На рисунке 1 представлен анализ рынка транспортных услуг исследуемых ТЭК.

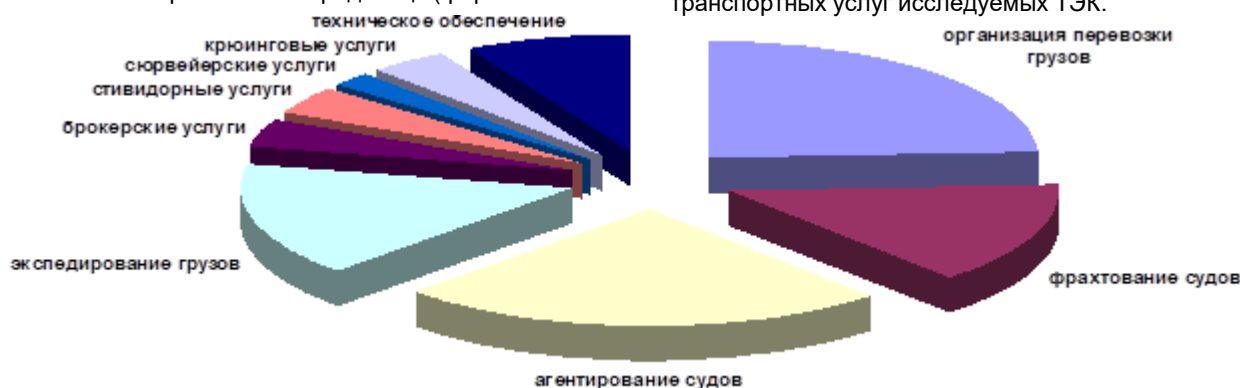


Рис. 1. Анализ рынка транспортных услуг

Анализ рынка транспортных услуг даёт следующую картину:

- организация перевозки грузов – 100%
- фрахтование судов – 58%
- агентирование судов – 100%
- экспедирование грузов – 66%
- брокерские услуги – 16%
- стивидорные услуги – 16%
- сюрвейерские услуги – 8%
- крюинговые услуги – 16%
- техническое обеспечение – 33%

Метод исследования – экспертный анкетный опрос. Респондентами выступили сотрудники ТЭК разного уровня.

Объём выборочной совокупности составил 12 компаний работающих в транспортной отрасли на территории Астрахани и Астраханской области.

Респондентам было предложено оценить по ранжированию (присваивая каждому фактору ранги от 1 до 15) важность различных факторов, влияющих на эффективность работы ТЭК. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2

## Оценка различных факторов на эффективность работы ТЭК с точки зрения сотрудников разного уровня

Наименование фактора	Оценка фактора (балл)		
	директор	рук. ср. звена	сотрудник
Стоимость услуг	1	3,3	1,4
Информационная система	2	4,3	2,6
Стратегия развития	2,3	1,8	2,1
Психологический микроклимат в коллективе	3,3	3,5	3,5
Подъездные пути	4,3	5	4,2
Качество оказываемых услуг	3,3	2	2,5
Качество менеджмента	1,3	2,3	2,5
Взаимоотношения со смежными организациями	1,6	2,3	2,7
Взаимоотношение с местными и надзорными органами власти	2,3	3,5	2,7
Маркетинг	3	4	2,3
Технологическая подготовка	2	3,3	2,7
Компетентность персонала	1,3	2,3	2,9
Инфраструктура компании	2,3	4	2,7

**Выводы**

Проведён анализ влияния различных факторов на эффективность работы транспортной компании.

Предложена система критериев для оценки эффективности работы ТЭК. По этим критериям на основании опроса сотрудников формируется представление об уровне развития ТЭК. Для проведения опроса составлена анкета экспертной оценки.

На основании проведённых исследований можно отметить что, приоритетное влияние на эффективность работы компании, по мнению опрошенных, имеют стоимость и качество оказываемых услуг, а так же степень оперативности решений и учет рыночной

конъюнктуры. Важность технологической подготовки и компетентность персонала отмечает около половины опрошенных респондентов (2 место). Уровень организации и управления занимает 3 место по приоритетам. Сотрудники называют важными факторами также взаимоотношение со смежными организациями, местными надзорными органами власти (4 место).

Хочется отметить низкую активность и не заинтересованность сотрудников компаний при проведении опроса. Причем это касается руководящего состава и рядовых сотрудников. Это говорит об отсутствии мотивации сотрудников и не заинтересованности их в результатах деятельности компании.

**Литература**

1. Современный уровень интеграции морского торгового порта Оля в транспортно-логистическую систему Каспийского региона /Доклад сотрудника лаборатории анализа и прогнозирования транспортно-логистических систем ИНП РАН Голованевой А.А., опубликованный в материалах международной конференции «Трансбалтика – 2010», 03-04 июня 2010 г., Рига, Латвия.
2. Шаш, Н.Н. Развитие человеческого капитала организации: теория, методология, измерение [Текст]: дис. ... докт. экон. наук: 08.00.05: защищена 25.12.2006 / Шаш Наталья Николаевна. – Саратов, 2006.
3. Аналитика. Компания RUFCO. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rufco.ru/analytics/>
4. Горлов, С.М. Международные транспортные операции: учебное пособие / С.М. Горлов, О.В. Тахумова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь: СКФУ, 2016. - 111 с.: ил.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459042>.
5. Методология и методы социологического исследования: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Е. В. Тихонова. — М.: Издательский центр «Академия», 2012. — 368 с.

**References**

1. Sovremennyy uroven' integratsii morskogo torgovogo porta Olya v transportno-logisticheskuyu sistemu Kaspiyskogo regiona. Doklad sotrudnika laboratorii analiza i prognozirovaniya transportno-logisticheskikh sistem INP RAN Golovanevoy A.A., opublikovanny v materialakh mezhdunarodnoy konferentsii «Transbaltika 2010», 03-04 iyunya 2010 g., Riga, Latviya.
2. Shash, N.N. Razvitie chelovecheskogo kapitala organizatsii: teoriya, metodologiya, izmerenie [Tekst]: dis. ... dokt. ekon. nauk: 08.00.05: zashchishchena 25.12.2006. Shash Natal'ya Nikolaevna. Saratov, 2006.
3. Analitika. Kompaniya RUFCO. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://rufco.ru/analytics/>
4. Gorlov, S.M. Mezhdunarodnye transportnye operatsii: uchebnoe posobie. S.M. Gorlov, O.V. Takhumova; Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii, Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe

obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Severo-Kavkazskiy federal'nyy universitet». Stavropol': SKFU, 2016. 111 p.: il.; To zhe [Elektronnyy resurs]. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459042>.

5. Metodologiya i metody sotsiologicheskogo issledovaniya: uchebnik dlya stud. uchrezhdeniy vyssh. prof. obrazovaniya. E. V. Tikhonova. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2012. 368 p.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 629.5.06: 681.518

### СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗЭКИПАЖНЫМИ СУДАМИ

**Алексей Валерьевич Титов**

кандидат технических наук, руководитель Каспийского распределенного центра «Маринет» Национальной технологической инициативы, председатель Астраханского отделения «Ассоциации инженерного образования России», зам. председателя НП СРО «Каспийская ассоциация аудиторов, энергоаудиторских и экспертных организаций», руководитель проекта «Морская многоцелевая беспилотная платформа», Астраханский государственный университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20  
e-mail: pochta\_414000@list.ru

**Лама Баракат**

аспирант кафедры «Автоматика и управление»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: lama.barakat@mail.ru

**Василий Александрович Чанчиков**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: bazelius87@mail.ru

**Герман Александрович Тактаров**

доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Финансы и учет»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: finans@astu.org

**Олег Петрович Ковалев**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Технологии продуктов питания и товароведения»  
Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт  
141821, Московская область, Дмитровский р-н, пос. Рыбное, 36  
e-mail: drti\_agtu@mail.ru

#### Аннотация

Авторами исследуются основные системы управления безэкипажными судами (БЭС), которые обычно способны принимать решения без какого-либо вмешательства человека. В данной статье рассматриваются базовые компоненты автономной системы. Предлагается общая концепция системы предупреждения столкновений с информационным потоком между ее основными подсистемами. Рассмотрен подробный пример системы мониторинга и управления двигателем. Отмечено, что современные автоматизированные системы швартовки и стыковки можно различать по видам: магнитные, лазерные и вакуумные. В работе используется теоретический метод исследования, включающий описание и анализ систем управления существующих проектов БЭС. Результаты исследования позволяют понять, что, в дальнейшем БЭС будут использовать интегрированные автономные системы управления, которые могут управляться и/или контролироваться оператором берегового центра управления через спутниковые или радиочастотные системы.

**Ключевые слова:** безэкипажное судно, системы управления безэкипажными судами, модуль предупреждения столкновений судов, классификация уровней автоматизации автономных систем, информационно-логическая модель предупреждения столкновения судов, элементы системы управления безэкипажным судном, автономная навигационная система, система мониторинга и управления двигателем (судовой энергетической установки), автоматизированные системы швартовки.

### CONTROL SYSTEMS OF UNMANNED VESSELS

**Alexey V. Titov**

Ph.D. in Engineering Science, Head of the "Marinet" distribution center of the National Technological Initiative of Russia, Chairman of the Astrakhan branch of the Association of Engineering Education of Russia, Deputy Chairman of NP SRO "Caspian Association of Auditors, Energy Auditing and Expert Organizations", Project Manager of "Marine Multi-Purpose Unmanned Platform", Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 20  
e-mail: pochta\_414000@list.ru

**Lama Barakat**

Postgraduate Student of the Department "Automation and Control"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: lama.barakat@mail.ru

**Vasily A. Chanchikov**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Shipbuilding  
and Power Complexes of Marine Engineering  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: bazelius87@mail.ru

**German A. Taktarov**

Dr.Sci.(Economics), Professor, Professor of the Department of "Finance and Accounting"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: finans@astu.org

**Oleg P. Kovalev**

Dr.Sci.Tech, Professor, Head of the Department  
"Food and Merchandising Technology"  
Dmitrovsky Fisheries Technological Institute  
141821, Moscow region, Dmitrovsky district, vil. Ribnoye, 36  
e-mail: drti\_agtu@mail.ru

**Abstract**

The authors investigate the basic control systems for unmanned vessels, which are usually able to make decisions without any human intervention. This article reviews the basic components of an autonomous system. A general concept of a collision avoidance system with an information flow between its main subsystems is proposed. A detailed example of an engine monitoring and control system is reviewed. It is noted that modern automated mooring and docking systems can be distinguished by type: magnetic, laser and vacuum. The paper uses a theoretical research method that includes a description and analysis of the control systems of existing unmanned vessels projects. The results of the study make it possible to understand that, in the future, unmanned vessels will use integrated autonomous control systems that can be managed and / or controlled by an operator of the coastal control center via satellite or radio frequency systems.

**Keywords:** unmanned vessel, unmanned vessel control systems, ship collision avoidance module, classification of autonomous systems automation levels, information and logical model of collision avoidance, unmanned vessel control system elements, autonomous navigation system, engine monitoring and control system (ship power plant), automated mooring systems.

**Введение**

Стремительное развитие в направлении использования автономных систем представляет собой одно из самых радикальных изменений, наблюдаемых в индустрии морского судоходства.

В большинстве случаев эти системы превышают человеческие возможности и способны принимать решения без какого-либо вмешательства, что делает возможным создание безэкипажных судов, как в сочетании дистанционного и автономного управления. Автономные системы предназначены для использования в условиях значительных

неопределенностей в течение длительных периодов времени. В 2012 году NFA Autonomy Working Group (норвежское общество автоматического управления) представило отчет, касающийся автономные системы. В отчете были представлены основные компоненты автономной системы [5]. Отмечается, что для того, чтобы система была автономной, она должна обладать одной или несколькими из следующих возможностей: обучение; ситуационная осведомленность; рассуждение; планирование; человеко-машинные интерфейсы; принятие решения; и приведение в действие (рис. 1).



Рис. 1. Компоненты автономной системы

Под «автономным судном» понимается – «морское судно с датчиками, автоматизированной навигацией, двигательными и вспомогательными системами, с логикой принятия решений для следования планам миссии, настройки выполнения миссии и работы без вмешательства человека», – представлено в отчете американского бюро судоходства (ABS) об автономных судах (Autonomous Vessels: ABS’ Classification Perspective) за 2016 год [6].

Рассмотрим уровни автоматизации «автономных» систем в области морской техники. В таблице 1 представлены основные уровни автономии в соответствии с отчетом ABS об автономных судах (Autonomous Vessels: ABS’ Classification Perspective) за 2016 год [6].

Таблица 1

**Основные уровни автономии в соответствии с ABS**

Уровень	Характеристики
0	человеческий контроль (human control)
1	некоторые функции автоматизированы (some functions automated)
2	обычные операции автоматизированы; человек готов взять на себя (normal operations automated; human ready to take over)
3	критические функции безопасности автоматизированы; человеческое присутствие (safety-critical functions automated; human present)
4	полная автономия критических функций безопасности и мониторинга окружающей среды на время рейса (full autonomy of safety-critical functions and environmental monitoring for duration of trip)
5	полная автономия без доступных для человека интерфейсов управления (full autonomy with no human-available control interfaces)

Согласно руководству регистра Lloyd's Register of Shipping «Cyber-enabled ships (ShipRight procedure assignment for cyber descriptive notes for autonomous & remote access ships)» от декабря 2017 года, шесть уровней автономии (autonomy levels (ALs)) предложены для судоходства в зависимости от технологии, систем и эксплуатационных характеристик судна. Эти уровни заключаются в пределах от AL1 для судов с данными, собранными для принятия бортовых решений, до AL6, который обозначает полностью автономное судно.

Для судов, классифицированных в соответствии с уровнями AL1 и AL2, все операции будут предприниматься человеком-оператором, но с берега будет поддерживаться принятие решений.

На судах, принадлежащих к уровням AL3 и AL4, экипаж будет играть только надзорный роль, выходящий за рамки операций авторулевого.

Суда уровней AL5 и AL6 будут полностью автономными, а принятие решения будет приниматься без вмешательства человека [7].

Первое в мире полностью автономное судно испытывалось компаниями «Rolls-Royce» и «Finferries» от 3 декабря 2018 года. Они продемонстрировали возможности полностью автономного паромы «Falco», который выполнил все автоматические операции без вмешательства со стороны экипажа [8].

В настоящее время развитие в направлении морских беспилотных средств находится на стадии эксперимента и испытаний.

Ведущим разработчиком систем управления автономными судами является норвежская компания «KONGSBERG». Она участвует в ряде проектов, в которых основное внимание уделяется интегрированной сенсорной технологии и автоматическому предупреждению столкновений. Например: 1. Проект «Hrönn». Был впервые продемонстрирован 1 ноября 2016 года. Представлены система динамического позиционирования (DP), спутниковая навигационная система, морские системы связи, поставляемые компанией «KONGSBERG»; 2. Проект «Yara Birkeland». Компания «KONGSBERG» отвечает за разработку всех основных технологий, необходимых для дистанционных и автономных



судовых операций, а также за электроприводы и системы управления проектом [1].

На будущих БЭС будут использовать интегрированные автономные системы управления, которые могут быть управляться и/или контролироваться оператором берегового центра

управления (БЦУ) через спутниковые или радиочастотные системы.

Основные элементы, дополненные к системам управления БЭС, обеспечивающие движение, представлены на рисунке 2.

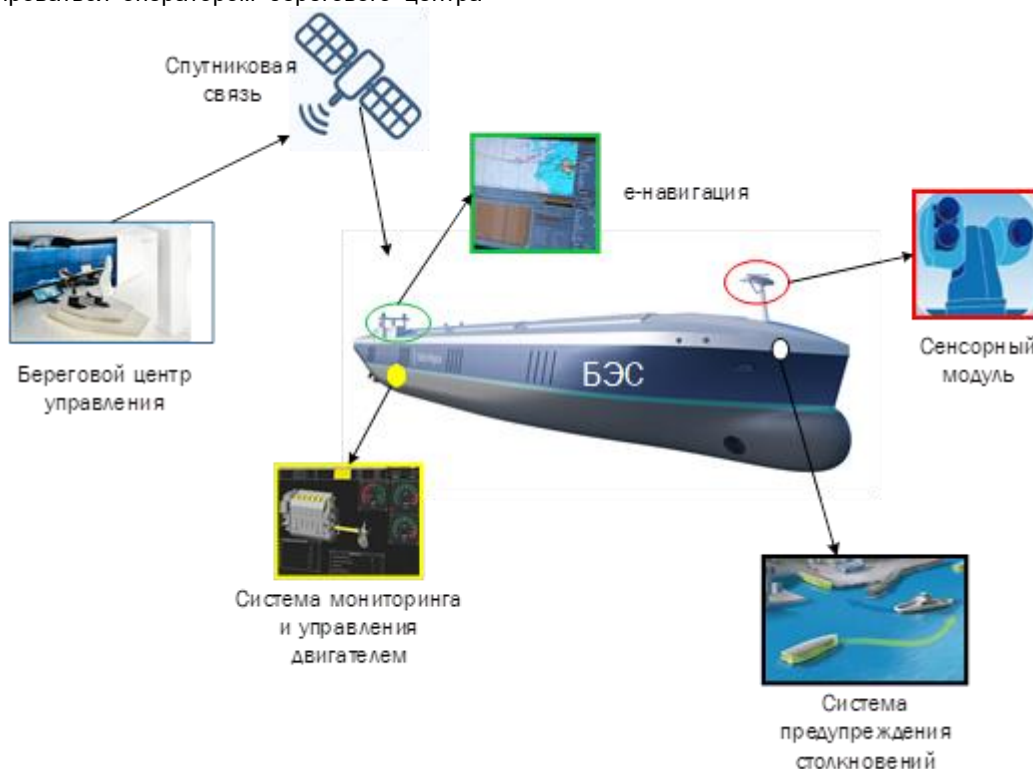


Рис. 2. Основные элементы, обеспечивающие управление БЭС

**1. Автономная навигационная система**

Существующие научные разработки в сфере технологии безэкипажного судовождения и её применения весьма подробно отражают ключевые аспекты навигационных систем, которые автоматически управляют БЭС в различных ситуациях в зависимости от современных систем динамического позиционирования (ДП).

В 2016 году компания Rolls-Royce выставила отчет, касающийся ее проекта «AAWA» (Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative). В отчете были представлены основные блоки, необходимые для достижения автономной навигации. К этим блокам относятся модули планирования маршрута (ПМ), ситуационной информированности (СИ), предупреждения столкновений (ПС) и определения состояния судна (ОСС). Отмечается, что каждый модуль будет иметь свою задачу и в сочетании с системой динамического позиционирования и каналом передачи данных оператору будет формировать всю автономную навигационную систему. На

рисунке 3 показана структурная схема автономной навигационной системы проекта «AAWA» [2].

Модуль ОСС представляет собой виртуальный капитан (ВК), который имеет наивысший приоритет, так как собирает информацию из всех других систем (ПМ, СИ, ПС и ДП), а также от других судовых автономных систем и оператора для определения, будет ли судно работать в автономном, дистанционном или аварийном режиме.

Модуль ПМ имеет программный характер и отвечает за планирование пути от начала до конца. Этот модуль предоставляет модулю ПС информацию об окружающей среде и близлежащих судах, которую модуль ПС затем использует для оценки риска столкновения и предупреждения реактивного столкновения. Модуль СИ является важной частью безопасного плавания судна. Он подключен к нескольким датчикам различных типов и извлекает соответствующую информацию об окружающей среде судна, которая будет использоваться системой ПС.



Рис. 3. Структурная схема автономной навигационной системы проекта «АВА»

Согласно итоговой брошюре проекта «MUNIN» (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks) за 2016 год автономная навигация проекта обеспечивается посредством следующих систем:

1. *прогрессивный сенсорный модуль (ПСМ)* отвечает за обнаружение, классификацию объектов и восприятие окружающей среды и принимает входные данные из инфракрасных и визуальных спектральных камер, а также данные радара и АИС (Автоматической идентификационной системы) для обнаружения и определения объектов [1];
2. *навигационная система «Deer Sea»* обеспечивает следование заданному плану плавания судна в пределах диапазона его действия или корректировку маршрута в случае изменения погодных и транспортных ситуаций. Эта система включает в себя задачи предупреждения столкновений и управления сигнализацией и аварийными ситуациями;
3. *система поддержки дистанционного маневрирования* рассматривается как вспомогательная для системы «Deer Sea» и БЦУ. Эта система помогает проводить маневры для избегания столкновения при плавании в ограниченных водных путях в портах [4].

## 2. Система предупреждения столкновений

Среди трагических событий на море риск столкновения судов считается серьезным вопросом, не имеющим однозначного решения. Человеческие ошибки по-прежнему являются одной из основных причин морских аварий. Чтобы избежать столкновения, все будущие автономные суда должны следовать международным правилам предупреждения столкновений судов в море

(МППСС), которые специально для автономного судоходства будут формулироваться Международной морской организацией (ИМО) к 2020 году.

На рисунке 4 иллюстрируется предлагаемая авторами общая концепция системы предупреждения столкновений (СПС) с информационным потоком между ее основными подсистемами.

Система предупреждения столкновений представляет собой алгоритм принятия решений, который использует выходные данные от модуля СИ [9]. Его основной выход является входом модуля «планирование маршрута», который выполняет задание планирования маршрута и определения требуемой скорости движения судна, которое является номинальным входом в автономные контроллеры, на основе информации о природной морской среде (волнение, скорость ветра, течения и пр.), избегая посадку на мель и столкновение с учетом отображенных опасностей, определенных в электронных навигационных картах (ЭНК).

В системе предупреждения столкновений учитываются МППСС для определения траекторий, близких к номинальной траектории судна и не допускающих столкновения.

Процесс управления судном выполняется автономными системами управления, которые связываются с автономными контроллерами. БЭС имеет прогрессивный сенсорный модуль, в котором используется высококачественное видеонаблюдение, инфракрасная камера с прямой видимостью, автоматическая идентификационная система (АИС) и радаром [3].

Положение БЭС определяется радиолокационным автопрокладчиком (ARPA), АИС, лидаром, технологией «e-Loran» и

глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС), такими как ГЛОНАСС, GPS, Galileo и Compass.

Основной задачей модуля СИ является объединение информации от различных датчиков и источников, поэтому эта система считается необходимым элементом для получения общей картины ситуации с наилучшими оценками положения препятствий, скоростей и других параметров движения [9].

Система предупреждения столкновений может выдавать аварийные сигналы другим судам в качестве света или звука и БЦУ посредством контроллеров связи.

Судно может находиться под дистанционным управлением операторов БЦУ. В случае аварийной ситуации они имеют возможность ставить диагноз неисправностей и принимать дистанционное управление через контроллеры связи судна для избегания столкновения.

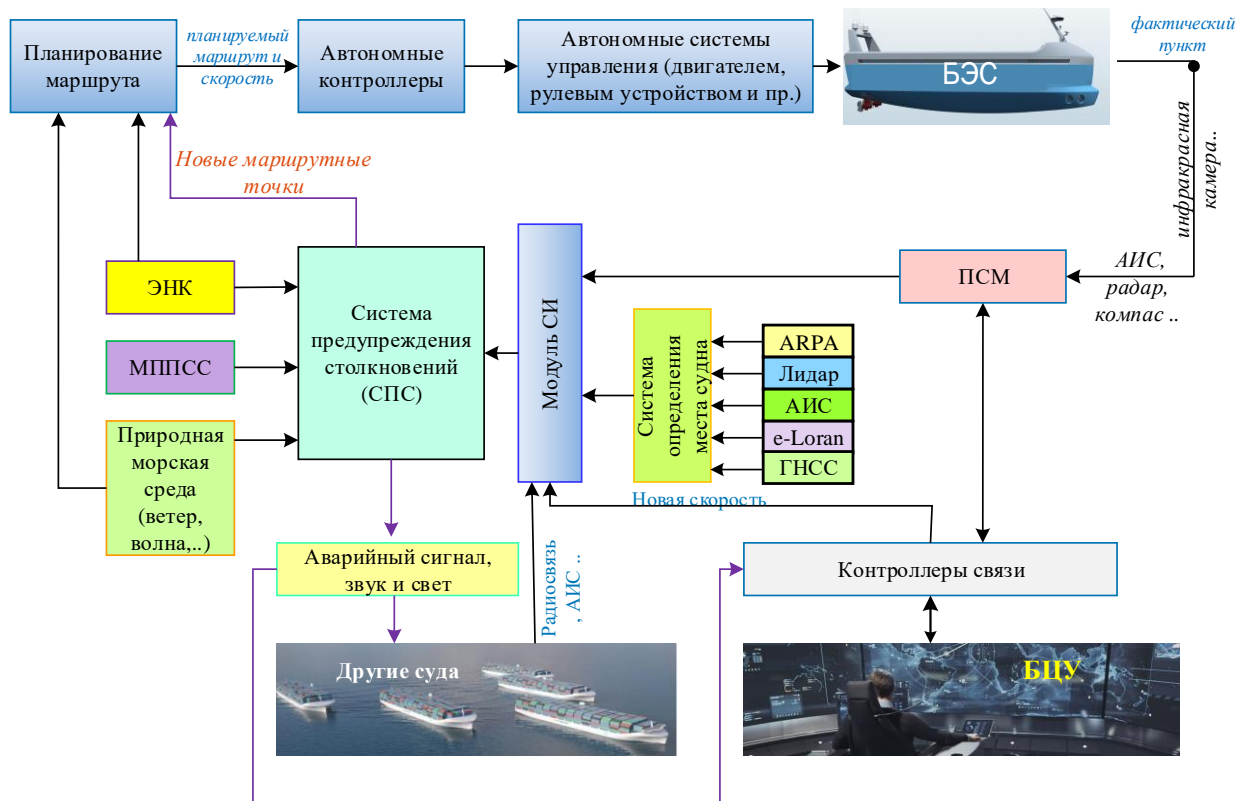


Рис. 4. Информационно-логическая модель системы предупреждения столкновений БЭС (авторская разработка)

Стоит отметить, что в августе 2015 года международное классификационное общество «DNV GL» начало работать с поставщиком мостового и навигационного оборудования «KONGSBERG» и Норвежским университетом естественных и технических наук (NTNU) над разработкой системы предупреждения столкновений под названием «Autosea». Ожидается, что этот проект будет завершен к весне 2019 года.

Проект «Autosea» фокусируется на автоматической ситуационной информированности с использованием объединения датчиков, чтобы уменьшить риск столкновений при повышении уровня автономности. В проекте «Autosea» также используются датчики, такие как камеры, инфракрасные и лидарные, в дополнение к обычным морским радарам для улучшения возможностей обнаружения на небольших объектах и лучшего покрытия для сектора ближнего радиуса действия [10].

### 3. Система мониторинга и управления двигателем

На современных судах и судах ближайшего будущего будут использоваться более дистанционные технологии мониторинга и управления двигателем. Все судовые системы должны быть снабжены датчиками, которые подключены к контроллеру, который в свою очередь отправляет данные БЦУ. При этом оператор БЦУ имеет возможность извлекать данные из бортовой системы для контроля и управления машинным отделением.

Прогресс в алгоритмах и инструментах цифровой обработки позволил получить новые решения для систем мониторинга и сигнализации, таких как многофункциональные микропроцессорные устройства, взаимодействующие с системами мониторинга и управления машинным отделением.

В концепцию проекта «MUNIN» входит система автономного мониторинга и управления двигателем (АМУД), которая является автономным контроллером машинного отделения (рис. 5). Она

контролирует и управляет всеми компонентами машинного отделения и работает в качестве передатчика для БЦУ [4].

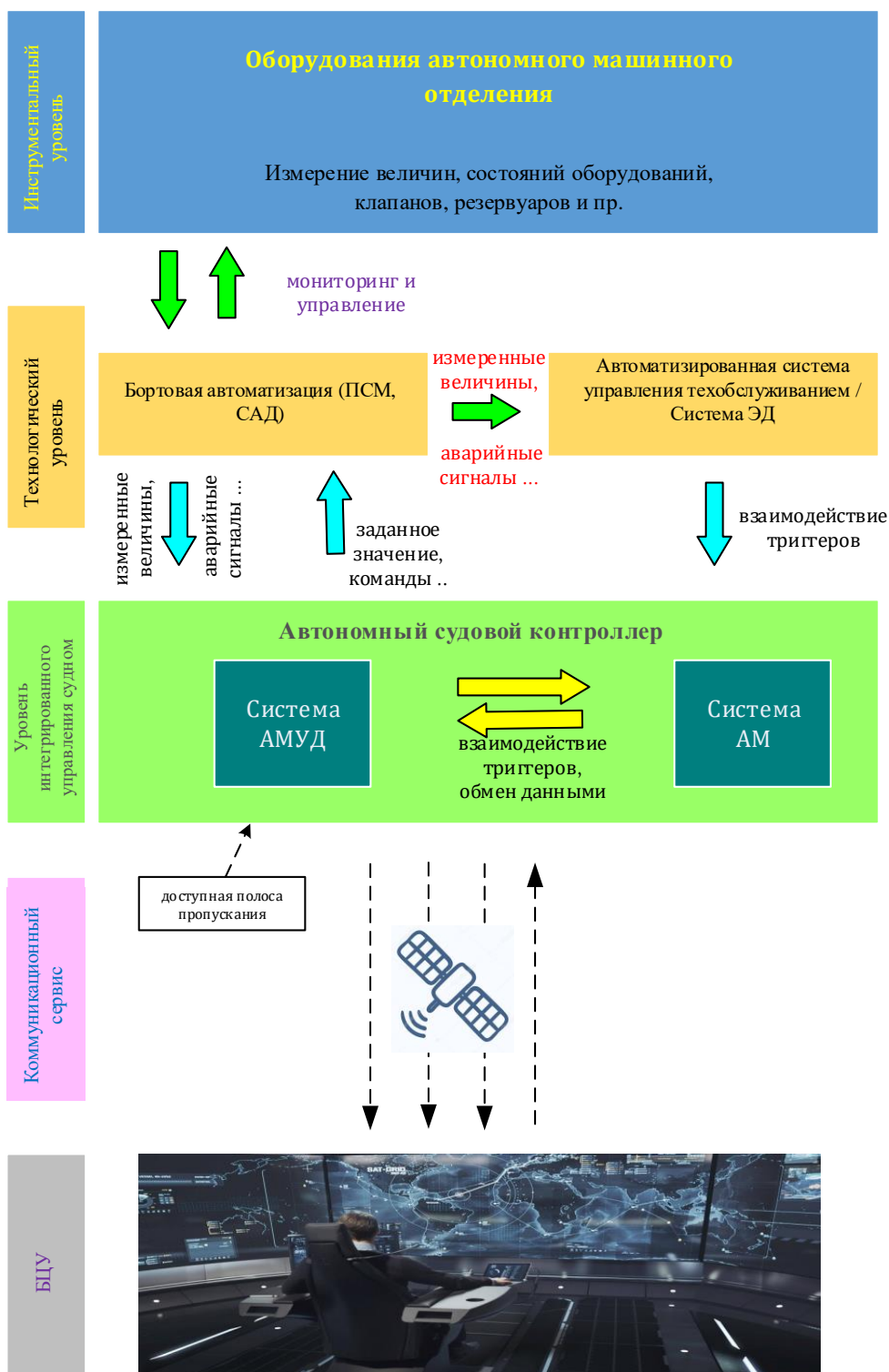


Рис. 5. Концепция системы АМУД проекта «MUNIN» [13]

Основными задачами системы АМУД являются получение измеренных значений и состояния из системы автоматизации судна (АС), принятие команд управления от других систем, таких как система автономного моста (АМ), и передача их в систему АС.

Основными судовыми системами, находящимися обычно под управлением системы АМУД, являются двигательная система, трюмная система, паровая система и энергетическая установка, включая вспомогательные двигатели, генератор и системы поддержки как система смазки, топливная система и система охлаждения.

Топливная система в основном обрабатывается системой АМУД, но процесс расчета и запуска бункеровки осуществляется «мостом».

Система АМУД обрабатывает только аварийные сигналы, связанные с двигателем и реагирует на поднятие этих сигналов. Данная система обеспечит интерфейс для моста для того, чтобы контролировать балластную систему. Таким образом, Система АМУД получает команды о том, сколько воды подается в балластные танки с последующей передачей информации в систему АС.

Система АМ управляет следующими судовыми системами: системы грузов, навигация, маневренности, пожаротушения, кондиционирования воздуха и внешней связи, а также подруливающее устройство и навигационная система [11].

При нормальных условиях работы система АМУД принимает ее исходные данные от системы эффективности двигателя (ЭД) и следует всем рекомендациям от системы ЭД. Связь с системой ЭД позволяет анализировать работоспособность и дает системе АМУД возможность обеспечения оптимизированной работы производителей электроэнергии. Аварийная обработка включает в себя обнаружение неисправности путем мониторинга ключевых значений, доступа к системе автоматизации двигателя (САД) и дополнительным датчикам, например, ИК-камеры, обнаружение попадания воды, обнаружения газа и пожара [12].

#### 4. Автоматизированные системы швартовки

Автоматизированные системы швартовки (АСШ) судов являются последней инновацией, которая оптимизирует использование причала и обеспечивает наилучшую эффективность работы порта. АСШ предназначены для замены традиционных методов с использованием швартовочных тросов.

Швартовка в автоматическом режиме обеспечивает надежное крепление судна, без необходимости вмешательства оператора на причале, и дает существенные преимущества с точки зрения трудозатрат, безопасности и уменьшения вредных выбросов в окружающую среду.

Автоматизированные системы швартовки и стыковки управляются и контролируются дистанционно оператором, а также функции сигнализации этих систем работают в режиме реального времени.

Для понимания сущности автоматизированных процессов швартовки и стыковки, условно можно выделить основные автоматизированные устройства швартовки и стыковки в следующие системы: магнитная; лазерная и вакуумная.

Большое исследование, посвященное магнитной системы швартовки, было проведено исследователями нидерландской компании «Mampaeu Offshore Industries». Результаты исследования представлены в виде системы «The intelligent Dock Locking» [14]. Эта система использует магнитный блок, соединенный с тремя направленными гидравлическими цилиндрами, установленными в прочном каркасе (рис. 6).

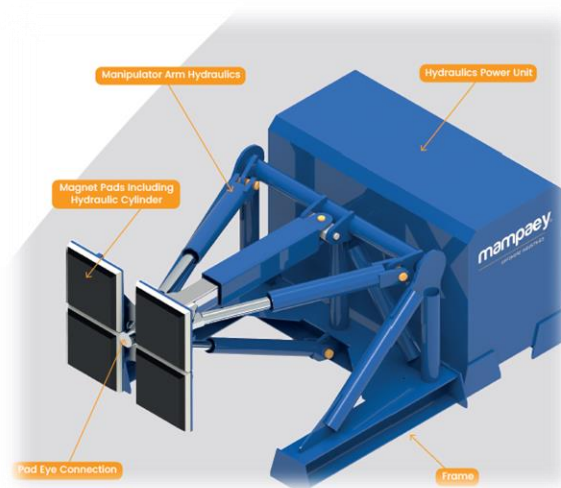


Рис. 6. Конструкции системы швартовки «The intelligent Dock Locking» [15]

За каркасом находится гидравлический блок питания, который также содержит главный блок управления, ПЛК и коммуникационные модули. Благодаря специализированному полимеру трение между системой и судном исключается. Магнитная сила создается постоянными магнитами, которые перемещаются гидравлическими цилиндрами. Система «The intelligent Dock Locking» выдает предупреждения в режиме реального времени, если швартовочные силы или движения приближаются к своим пределам. Измеренную информацию о швартовке можно контролировать из любого места [15].

Применение технологии вакуума в швартовочных операциях и ее разработки ведут многие компании, осуществляющие научно-исследовательские, технологические системы швартовки, такие как система AutoMoog (лидер Trelleborg) и система MoorMaster (лидер Cavotec).

Вакуумные подушки создают постоянную силу на судне во время операции швартовки посредством вакуумных насосов и аккуратно сосут ее к причалу.

Система «AutoMoog» представляет собой автоматическую швартовочную систему без тросов, разработанная и изготовленная эмиратской компанией «Trelleborg» (рис. 7).

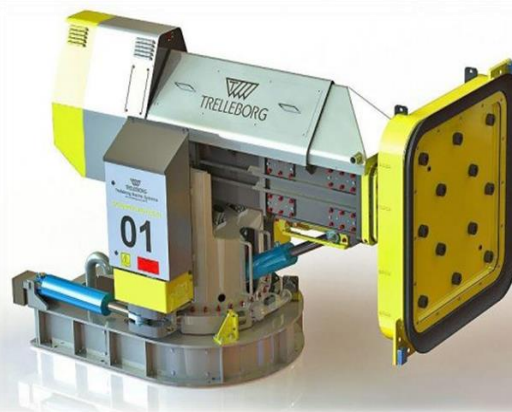


Рис. 7. Вакуумная система швартовки «AutoMoog» [17]

«AutoMoog» использует новейшую вакуумную технологию для быстрого крепления судна у причала и подходит для различных условий окружающей среды и стоянки. Данная система использует технологию «SmartPort», в которой сенсорные технологии играют ключевую роль, для соединения активов и постоянного мониторинга всех швартовых нагрузок, действующих на судно у причала, а также предоставляет оператору оперативные данные для оптимизации повседневной работы портов и терминалов [16].

Система «MoorMaster» проектирована швейцарской инженерной компанией «Cavotec». Эта система впервые поступил в эксплуатацию в 1999 году на пароме в Новой Зеландии. «MoorMaster» безопасно держит даже самые большие суда для навалочных грузов емкостью 450 000 тонн и исключает потребность для обычных швартовых операций. Вакуумные подушки с дистанционным управлением, прикрепленные к рычагам с гидравлическим приводом, выдвигают, прикрепляют и швартуют суда за несколько секунд (рис. 8). Данная вакуумная система включает в себя непрерывный мониторинг нагрузки и сложные функции сигнализации, передаваемые в реальном времени операционному персоналу на берегу, на борту и/или в офисе управления портом [18].



Рис. 8. Вакуумная система швартовки «MoorMaster» серии MM400E<sup>15</sup> [17]

В 2016 году было подписано соглашение между компаниями «Wärtsilä» и «Cavotec» о совместной разработке первой в мире концепции комбинированной индукционной зарядки и автоматической швартовки. «Wärtsilä» ответила за разработку беспроводной системы зарядки на основе индуктивной передачи энергии и «Cavotec» в свою очередь – за автоматизированные системы швартовки для различных типов судов. Благодаря объединению опыта обеих компаний

интегрированная концепция беспроводной зарядки/швартовки была разработана [19].

Интеллектуальная лазерная стыковочная система стала более широко использоваться по мере развития крупногабаритных судов. Эта система измеряет точные и в реальном времени данные о расстоянии и скорости судна.

Ведущими разработчиками автоматизированных систем стыковки в мире являются компании «Trelleborg», «Strainstall», «A. & Marine (Thai) Co., Ltd.» и «MARIMATECH».

Примером лазерной стыковочной системы является «SmartDock», изготовленный компанией «Trelleborg». Типичная система состоит из двух лазерных датчиков, контроллера и центрального ПК. Данные о процессе стыковки, а также аварийные сигналы при достижении риска критических пределов подается несколькими способами, в том числе с помощью большого экрана на причале (рис. 9). ПК в центре управления регистрирует данные и обеспечивает графическое представление всего процесса [20].

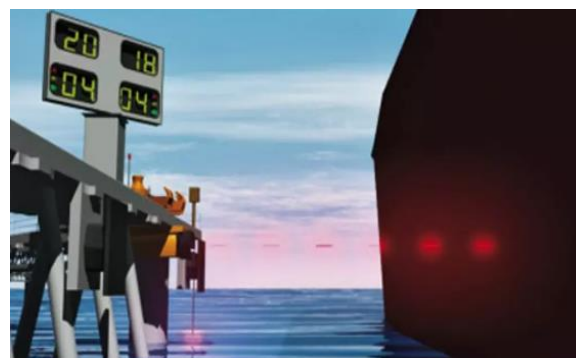


Рис. 9. Панель индикации системы «SmartDock» [20]

Другой пример может служить лазерная стыковочная система «MARIMATECH», которая использует два лазера, установленных на пристани, которые измеряют расстояние до стороны приближающихся судов, а затем вычисляют скорость и угол наклона судна.

На рисунке 10 иллюстрируется простая концепция системы «MARIMATECH» основана на дистанционной передаче данных. Эти данные можно показать на установленном на причале цифровом большом дисплее, беспроводных устройствах, таких как портативные пейджеры или карманных персональных компьютерах (КПК), и на компьютерных мониторах диспетчерской.

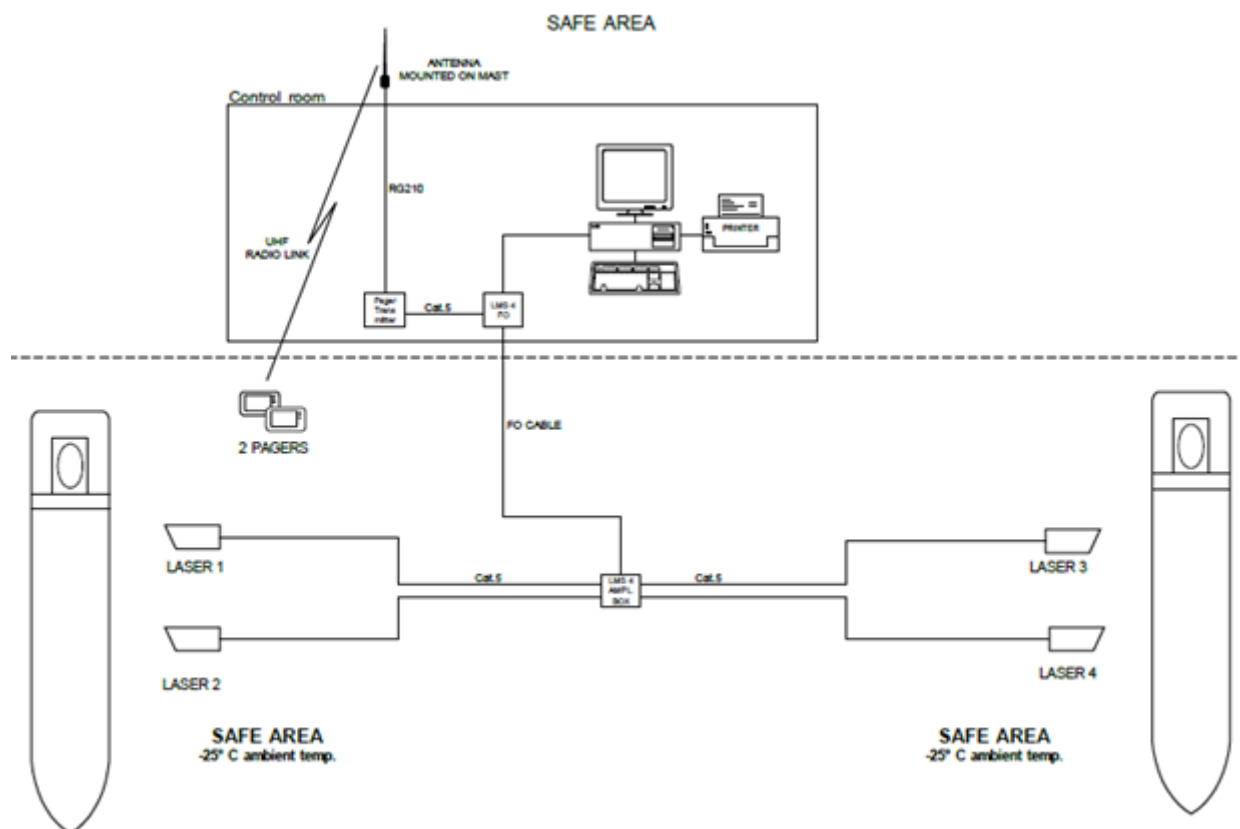


Рис. 10. Структурная схема системы «MARIMATECH» [21]

Стоит отметить, что компания «Strainstall» предлагает современную лазерную стыковочную систему «DockAler», в которой используются блоки безопасного для глаз лазера, установленных по обе стороны от головки причала, для измерения расстояния от носа до кормы относительно причала, а также обеспечивает скорость и угол наклона судна к причалу (рис. 11). Данные от этих лазеров поступают в центральную систему управления, где они могут отображаться в диспетчерской пристани и передаваться переносным пейджером, КПК и / или дисплею [22].

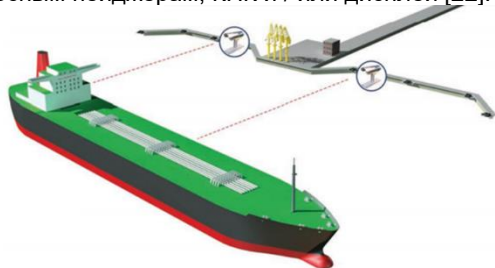


Рис. 11. Лазерная стыковочная система «DockAler» [22]

### Заключение

Автономные системы открыли новые возможности в индустрии морского судоходства и становятся одним из важнейших факторов, изменяющих методологию проектирования, судостроения и эксплуатации современных судов.

В публикации представлен анализ уровней автоматизации «автономных» систем в области морской техники (Autonomous Vessels: ABS' Classification Perspective; Lloyd's Register of Shipping «Cyber-enabled ships»).

Максимальный уровень автоматизации позволяет работать БЭС без вмешательства человека. Автономную навигационную систему можно считать одной из ключевых частей БЭС. В публикации представлена авторская информационно-логическая модель системы предупреждения столкновений БЭС, разработанная на основе анализа и синтеза существующих структурных схем и моделей БЭС.

### Литература

1. Титов А.В., Баракат Л. Перспективы технологического развития и внедрения безэкипажных судов //Морские интеллектуальные технологии. 2018. – Т. 1. – №3(41). – С 94-103.
2. AAWA. (2016). Remote and Autonomous Ships: The next steps. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf> . (дата обращения: 19.12.2018).
3. Hogg, Trudi, and Samrat Ghosh. "Autonomous merchant vessels: examination of factors that impact the effective implementation of unmanned ships. Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs 8.3 (2016): (pp. 206-222).

4. Final Report Summary - MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks). [Электронный ресурс]. URL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/104631/reporting/en> . (дата обращения: 28.12.2018).
5. Autonomous Systems: Opportunities and Challenges for the Oil & Gas Industry. [Электронный ресурс]. URL: <https://nfea.no/wp-content/uploads/2018/02/Autonomirapport-NFA.pdf> . (дата обращения: 04.11.2018).
6. John Jorgensen. Autonomous Vessels: ABS' Classification Perspective. Discussion Issues in Technology, Safety and Security for the Marine Board, 2016.
7. A Lloyd's Register guidance document (December 2017). Cyber-enabled ships (ShipRight procedure assignment for cyber descriptive notes for autonomous & remote access ships).
8. Rolls-Royce и Finferries испытали первый в мире полностью автономный паром. [Электронный ресурс]. URL: <http://portnews.ru/news/268729/?fbclid=IwAR0PToeHGr8HaOlPkYKW7P6MJUJrgThM7wos-gLPYiuLKxOn5zk5PjU0k8l> . (дата обращения: 04.11.2018).
9. Johansen, T. A., Cristofaro, A., & Perez, T. (2016). Ship collision avoidance using scenario-based model predictive control. IFAC-Papers On Line, 49(23), pp14-21.
10. Deals Struck at Nor-Shipping. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.maritime-executive.com/article/deals-struck-at-nor-shipping> . (дата обращения: 29.12.2018).
11. MUNIN. 6.2: Specification concept of the general technical system redesign. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2013/11/MUNIN-D-6-2-General-technical-system-redesign-concept-HSW-Final1.pdf> . (дата обращения: 03.01.2019).
12. MUNIN. D8.7: Final Report: Autonomous Engine Room. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/09/MUNIN-D8-7-Final-Report-Autonomous-Engine-Room-MSoft-final.pdf> . (дата обращения: 03.01.2019).
13. Enrico Fentzahn. Autonomous Engine Monitoring and Control. MUNIN – Final Event, Hamburg, Germany, 10th-11th June 2015. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/06/MUNIN-Final-Event-E-3b-MSoft-Autonomous-engine-monitoring.pdf> . (дата обращения: 03.01.2019).
14. The intelligent Dock Locking System. [Электронный ресурс]. URL: <https://mampaey.com/berthing-mooring-overview/the-intelligent-docklocking-system/> . (дата обращения: 05.01.2019).
15. Intelligent Dock Locking System. [Электронный ресурс]. URL: <https://mampaey.com/wp-content/uploads/2017/08/Brochure-Mampaey-intelligent-Dock-Locking-System.pdf> . (дата обращения: 05.01.2019).
16. AutoMoor. Overview. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.trelleborg.com/en/marine-systems/products--solutions--and--services/docking--and--mooring/automated--mooring--systems/automoor> . (дата обращения: 09.01.2019).
17. AutoMoor by Trelleborg Marine Systems. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.porttechnology.org/directory/trelleborg\\_marine\\_systems/products/30998/AutoMoor](https://www.porttechnology.org/directory/trelleborg_marine_systems/products/30998/AutoMoor) . (дата обращения: 09.01.2019).
18. AUTOMATED MOORING. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/automated-mooring> . (дата обращения: 11.01.2019).
19. Wärtsilä and Cavotec to develop world's first marine wireless charging and mooring concept. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.wartsila.com/media/news/25-01-2016-wartsila-and-cavotec-to-develop-worlds-first-marine-wireless-charging-and-mooring-concept> . (дата обращения: 12.01.2019).
20. SmartDock® Laser Docking Aid System. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.trelleborg.com/en/marine-systems/products--solutions--and--services/docking--and--mooring/docking--aid--system/smart-dock--laser> . (дата обращения: 14.01.2019).
21. Berthing Aid Systems. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.atlantamarine.com/documents/Berthing%20Aid%20Systems.pdf> . (дата обращения: 16.01.2019).
22. Jetty monitoring and management systems. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.strainstall.com/files/9214/9693/6079/43917\\_James\\_Fisher\\_Jetty\\_Monitoring\\_V1\\_WEB.pdf](http://www.strainstall.com/files/9214/9693/6079/43917_James_Fisher_Jetty_Monitoring_V1_WEB.pdf) . (дата обращения: 18.01.2019).

#### References

1. Titov A.V., Barakat L. Perspektivy tekhnologicheskogo razvitiya i vnedreniya bezekipazhnykh sudov //Morskiye intellektualnyye tekhnologii. 2018. – Т. 1. – №3(41). – С 94-103.
2. AAWA. (2016). Remote and Autonomous Ships: The next steps. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf> . (дата obrashcheniya: 19.12.2018).
3. Hogg, Trudi. and Samrat Ghosh. "Autonomous merchant vessels: examination of factors that impact the effective implementation of unmanned ships. Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs 8.3 (2016): (pp. 206-222).
4. Final Report Summary - MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks). [Elektronnyy resurs]. URL: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/104631/reporting/en> (data obrashcheniya: 28.12.2018).
5. Autonomous Systems: Opportunities and Challenges for the Oil & Gas Industry. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://nfea.no/wp-content/uploads/2018/02/Autonomirapport-NFA.pdf> . (data obrashcheniya: 04.11.2018).
6. John Jorgensen. Autonomous Vessels: ABS' Classification Perspective. Discussion Issues in Technology. Safety and Security for the Marine Board. 2016.
7. A Lloyd's Register guidance document (December 2017). Cyber-enabled ships (ShipRight procedure assignment for cyber descriptive notes for autonomous & remote access ships).



8. Rolls-Royce i Finferries ispytali pervyy v mire polnostyu avtonomnyy parom. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://portnews.ru/news/268729/?fbclid=IwAR0PToeHGr8HaOlPkYKW7P6MJuJrgThM7wos-gLPYiuLKxOn5zk5PjU0k8l>. (data obrashcheniya: 04.11.2018).
9. Johansen, T. A., Cristofaro, A., & Perez, T. (2016). Ship collision avoidance using scenario-based model predictive control. IFAC-Papers On Line. 49(23). pp14-21.
10. Deals Struck at Nor-Shipping. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.maritime-executive.com/article/deals-struck-at-nor-shipping>. (data obrashcheniya: 29.12.2018).
11. MUNIN. 6.2: Specification concept of the general technical system redesign. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2013/11/MUNIN-D-6-2-General-technical-system-redesign-concept-HSW-Final1.pdf>. (data obrashcheniya: 03.01.2019).
12. MUNIN. D8.7: Final Report: Autonomous Engine Room. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/09/MUNIN-D8-7-Final-Report-Autonomous-Engine-Room-MSoft-final.pdf>. (data obrashcheniya: 03.01.2019).
13. Enrico Fentzahn. Autonomous Engine Monitoring and Control. MUNIN – Final Event. Hamburg. Germany. 10th-11th June 2015. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.unmanned-ship.org/munin/wp-content/uploads/2015/06/MUNIN-Final-Event-E-3b-MSoft-Autonomous-engine-monitoring.pdf>. (data obrashcheniya: 03.01.2019).
14. The intelligent Dock Locking System. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://mampaey.com/berthing-mooring-overview/the-intelligent-docklocking-system/>. (data obrashcheniya: 05.01.2019).
15. Intelligent Dock Locking System. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://mampaey.com/wp-content/uploads/2017/08/Brochure-Mampaey-intelligent-Dock-Locking-System.pdf> (data obrashcheniya: 05.01.2019).
16. AutoMoor. Overview. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.trelleborg.com/en/marine-systems/products--solutions--and--services/docking--and--mooring/automated--mooring--systems/automoor>. (data obrashcheniya: 09.01.2019).
17. AutoMoor by Trelleborg Marine Systems. [Elektronnyy resurs]. URL: [https://www.porttechnology.org/directory/trelleborg\\_marine\\_systems/products/30998/AutoMoor](https://www.porttechnology.org/directory/trelleborg_marine_systems/products/30998/AutoMoor). (data obrashcheniya: 09.01.2019).
18. AUTOMATED MOORING. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/automated-mooring>. (data obrashcheniya: 11.01.2019).
19. Wartsila? and Cavotec to develop world's first marine wireless charging and mooring concept. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.wartsila.com/media/news/25-01-2016-wartsila-and-cavotec-to-develop-worlds-first-marine-wireless-charging-and-mooring-concept>. (data obrashcheniya: 12.01.2019).
20. SmartDock® Laser Docking Aid System. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.trelleborg.com/en/marine-systems/products--solutions--and--services/docking--and--mooring/docking--aid--system/smart--dock--laser>. (data obrashcheniya: 14.01.2019).
21. Berthing Aid Systems. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.atlantasmarine.com/documents/Berthing%20Aid%20Systems.pdf>. (data obrashcheniya: 16.01.2019).
22. Jetty monitoring and management systems. [Elektronnyy resurs]. URL: [http://www.strainstall.com/files/9214/9693/6079/43917\\_James\\_Fisher\\_Jetty\\_Monitoring\\_V1\\_WEB.pdf](http://www.strainstall.com/files/9214/9693/6079/43917_James_Fisher_Jetty_Monitoring_V1_WEB.pdf). (data obrashcheniya: 18.01.2019).

**УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

УДК 004.89

**СТРУКТУРИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ПО МОНИТОРИНГУ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТА УГЛЕВОДОРОДОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО–ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ****Валерий Федорович Шуршев**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры "Прикладная информатика"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: pie@astu.org

**Юрий Васильевич Колотилов**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры "Высшая и прикладная математика"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: kolotilov\_yury@mail.ru

**Елена Прокофьевна Карлина**

доктор экономических наук, профессор,  
профессор кафедры "Производственный менеджмент"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: menedjment@astu.org

**Денис Владимирович Шадлов**

аспирант кафедры "Высшая и прикладная математика"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: shadlovdv@gmail.com

**Антон Юрьевич Плотников**

аспирант кафедры "Высшая и прикладная математика"  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: plotnikovyurii@rambler.ru

**Аннотация**

Рассмотрена система мониторинга экологической безопасности добычи и транспорта углеводородов в сложных инженерно–геологических условиях. Описан системный подход к анализу информационных потоков, который позволяет структурировать подсистемы на функциональные блоки. В этом случае функциональные свойства группировок фиксируют условия включения наименований компонентов в подмножества, обладающие общими функциональными свойствами. Приведен анализ распределения затрат по основным элементам нефтегазового комплекса при освоении месторождений как на суше, так и на Каспийском шельфе.

Рассмотрена система обеспечения безопасности Каспийского шельфа при освоении месторождений нефти и газа. Приведена структура распределения капитальных вложений по основным элементам нефтегазового комплекса при освоении месторождений на суше и при освоении морского нефтегазового месторождения на Каспийском шельфе. Показано, что при освоении морского месторождения выше доля затрат на объекты производственной инфраструктуры и сопряженного производства при одновременном снижении удельного веса затрат на объекты отрасли специализации.

Установлено, что для эффективного и динамичного освоения ресурсов Каспийского шельфа в первую очередь требуется создание базы по производству платформ и наплавных сооружений, а к началу добычи нефти и газа на конкретном морском месторождении необходимо завершить строительство большинства его сухопутных объектов, продолжить подводные и магистральные трубопроводы, выполнить значительный объем работ по объектам вспомогательного и обслуживающего назначения.

**Ключевые слова:** топливно–энергетический комплекс; мониторинг; экологической безопасности; инженерно–геологические условия; промышленный антропогенез; нефтегазовый объект; геотехническая система.

## STRUCTURING SOLUTIONS ON MONITORING ECOLOGICAL SAFETY OF HYDROCARBON PRODUCTION AND TRANSPORTION IN COMPLEX ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

**Valery F. Shurshev**

Dr.Sci.Tech, Professor of "Applied Information Science" Department  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e – mail: pie@astu.org

**Yuri V. Kolotilov**

Dr.Sci.Tech, Professor  
Professor, Department of Higher and Applied Mathematics  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e – mail: kolotilov\_yury@mail.ru

**Elena P. Karlina**

Dr.Sci.(Economics), Professor, Professor of the Department of "Production Management"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e – mail: menedjment@astu.org

**Denis V. Shadlov**

Postgraduate Student, Department of Higher and Applied Mathematics  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e – mail: shadlovdv@gmail.com

**Anton Y. Plotnikov**

Postgraduate Student, Department of Higher and Applied Mathematics  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e – mail: plotnikovyurii@rambler.ru

### Abstract

The system for monitoring ecological safety of hydrocarbon production and transportation in complex engineering and geological conditions has been reviewed. A systematic approach to the analysis of information flows is described, which allows the subsystems to be structured into functional units. In this case, the functional properties of the groupings fix the conditions for the inclusion of the names of the components in the subsets with common functional properties. An analysis of distribution of costs by the main elements of the oil and gas complex during the development of deposits both onshore and on the Caspian shelf is presented.

The safety system of the Caspian shelf during the development of oil and gas deposits is considered. The structure of the distribution of capital investments by the main elements of the oil and gas complex during the development of onshore fields and during the development of the offshore oil and gas field on the Caspian shelf is presented. It is shown that during the development of an offshore field, the share of costs for production infrastructure facilities and related production is higher while the share of costs for specialized industry facilities is being reduced.

It was established that for the effective and dynamic development of the Caspian shelf resources, first of all, it is necessary to create a base for the production of platforms and floating structures, and by the beginning of oil and gas production at a particular offshore field, it is necessary to complete the construction of most of its onshore facilities, extend underwater and trunk pipelines, perform a significant amount of work on facilities of auxiliary and service designation.

**Key words:** fuel and energy complex; monitoring; environmental safety; geotechnical conditions; industrial anthropogenesis; oil and gas facility; geotechnical system.

### Введение

Развитие топливно–энергетического комплекса должно обеспечиваться при строгом соблюдении требований по охране окружающей среды. Поскольку его объекты являются основными источниками загрязнения воздушного бассейна продуктами сгорания топлива, теплового загрязнения водных бассейнов и нарушений природных ландшафтов и земель, топливно–энергетический комплекс должен предусмотреть совокупность методов [1, 2] и средств [3, 4] для проведения экологического мониторинга, в частности, осуществлять контроль за состоянием

гидрологических систем, мониторинг за сейсмичностью и гидродинамикой районов добычи нефти и газа, контроль за миграцией животных и птиц, восстановление их популяций.

При реконструкции действующих объектов комплекса будут предусматриваться комплексные меры по снижению вредного влияния их деятельности на окружающую среду за счет применения более совершенных, энергосберегающих технологий.

Нефтегазовый комплекс относится к сфере хозяйственной деятельности, обладающей высокой степенью экологической опасности как в

региональном, так и в государственном масштабе [5, 6]. В этом смысле антропогенные факторы, формирующиеся в процессе сооружения и эксплуатации нефтегазовых объектов, в настоящее время становятся определяющими не только с точки зрения экологической обстановки в Каспийском регионе, но и в отношении реальной народнохозяйственной значимости комплекса в целом. При этом необходимо иметь в виду, что стратегия управления природоохранной деятельностью состоит в формировании превентивных мер, предотвращающих отрицательные воздействия и, следовательно, резко снижающих экологический риск как возможность негативных последствий для окружающей среды.

### 1. Системный анализ рисков

Указанная задача сложна и трудноразрешима. Этому в немалой степени способствует то обстоятельство, что природоохранные мероприятия часто оказываются дорогостоящими и экономически неэффективными в традиционном смысле.

Принцип полной экологической безопасности формируемых нефтегазовых объектов состоит в обязательной реализации комплексной системы всех взаимосвязанных элементов природоохранной деятельности. Каждый тип формируемой геотехнической системы (нефтегазодобывающей, нефтегазотранспортной, нефтегазоперерабатывающей и др.), имея свой набор воздействий и свою специфику природной составляющей, должен иметь и отдельный набор природоохранных мероприятий, которые уменьшают или максимально ограничивают возможность негативных антропогенных изменений.

Для оценки влияния нефте- и газопромышленного антропогенеза на экологическое равновесие в природе, определяющего экологическую безопасность реальной геотехнической системы, необходимо использовать такой количественный критерий, как уровень концентрации экологических потерь, характеризующийся масштабом воздействия нефтегазопромышленного техногенеза на окружающую среду [7, 8].

В указанной связи развитие сырьевой базы нефтегазового комплекса требует коренного технического перевооружения поисковых и геологоразведочных работ, создания и внедрения в широких масштабах более прогрессивных по сравнению с используемыми в настоящее время геофизических, геохимических, аэрокосмических методов изучения недр, создания и применения для этих целей новых технических средств, вычислительных комплексов и интеллектуальных технологий.

В области освоения морских нефтяных и газовых месторождений важнейшие направления научно-технического прогресса связаны с созданием стационарных платформ, комплексов подводного устьевого оборудования для эксплуатации скважин, технологии и технических средств для прокладки и эксплуатации подводных трубопроводов.

Чрезмерная нагрузка со стороны объектов нефтегазового комплекса Каспийского региона на окружающую среду требует коренного изменения сложившейся ситуации. Можно сформулировать и экологически оценить два варианта мер оздоровления – минимально необходимый и максимально достижимый. В обоих вариантах выбросы в атмосферу тепличных и токсичных газов, а также золы будут уменьшаться за счет трех групп мероприятий: активизации энергосбережения; изменения структуры производства энергоресурсов с увеличением доли нетопливных источников и природного газа; разработки технических мер по снижению объемов образования и выбросов в атмосферу тепличных, токсичных газов и золы. Главной из названных групп мероприятий, обеспечивающей более половины намечаемого уменьшения объема вредных выбросов в атмосферу, является интенсификация энергосбережения.

Природная специфика Каспийского региона предъявляет дополнительные требования к режиму хозяйствования, количественному и качественному преобразованию ресурсов. К основным элементам природной специфики Каспия относятся: неравномерность распределения минерально-сырьевых ресурсов на территории региона; недостаточная территориально-хозяйственная целостность всех экосистем в границах области; отсутствие больших водотоков в регионе; отсутствие достаточных запасов нерудных полезных ископаемых для стратегических целей; наличие больших запасов нефти и газа в шельфах с высоким рыбопромысловым значением; наличие источников, возобновляемой энергии; уникальность природных ландшафтов, имеющих мировое значение.

С учетом исключительного рыбопромыслового значения Каспийского моря наиболее остро стоят вопросы минимизации негативного воздействия на акваторию от действующих нефтегазотранспортных коммуникаций и других сопутствующих объектов. С этой целью реальный проект должен включать комплекс инженерно-технических решений, обеспечивающих минимальный экологический риск. На рисунке 1 приведена структура формирования системы экологической безопасности при освоении месторождения нефти и газа на Каспийском шельфе.

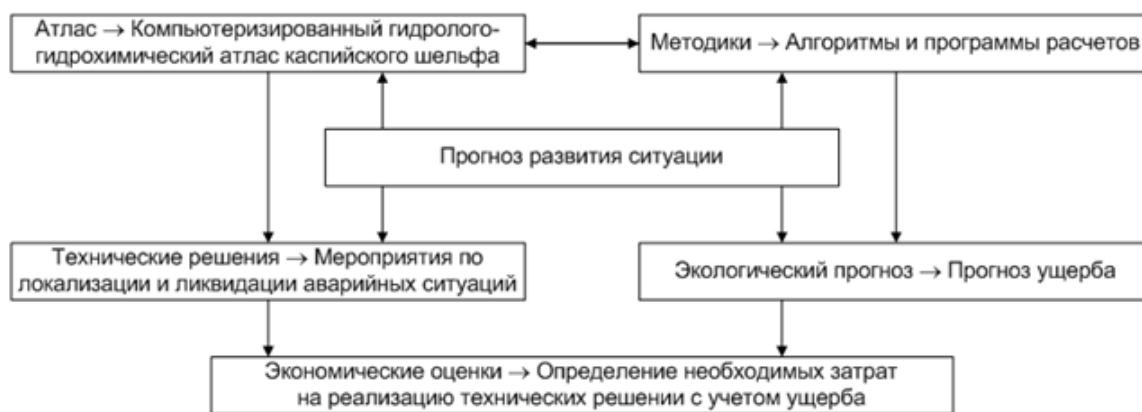


Рис. 1 – Система обеспечения безопасности Каспийского шельфа при освоении месторождений нефти и газа

В основе концепции формирования Каспийского морского нефтегазового комплекса (КМНГК) лежит принцип системного подхода к созданию и развитию всех его элементов, т.е. планирование многоотраслевого хозяйства, взаимосвязанного по целям, ресурсам и срокам. Наряду с планированием строительства основных производственных объектов отрасли специализации – морской нефтегазодобывающей промышленности должно быть обеспечено создание соответствующей производственной и социальной инфраструктуры, а также объектов сопряженного производства [9, 10].

## 2. Структура распределения капитальных вложений

Одним из основных и наиболее капиталоемких объектов сопряженного производства в комплексе морского нефтегазового комплекса является завод по производству технических средств освоения ресурсов шельфа – стационарных платформ и наплавных береговых сооружений. При этом исключительно большое значение приобретает выбор рационального месторасположения завода, учитывающий наличие существующего производственного потенциала, трудовых ресурсов, сырья для производства железобетона, удобной акватории, развитой транспортной системы, расстояние до районов эксплуатации объектов и т.п.

Применение на всех этапах освоения ресурсов шельфа (разведки, обустройства, эксплуатации месторождений) самых разнообразных морских технических средств – плавучих буровых установок, научно-исследовательских, транспортно-буксирных, аварийно-спасательных, ледокольных и прочих типов судов, плавучей строительной техники – требует организации специальных баз по их обслуживанию и ремонту. Поэтому в составе структуры КМНГК необходимо строительство базы по обслуживанию морских буровых работ, судоремонтного завода, портов-убежищ для морской строительной техники и прочих сопряженных производств, обусловленных спецификой освоения морских нефтегазовых ресурсов.

Предприятия производственной инфраструктуры комплекса, не участвуя непосредственно в производстве его конечной

продукции, т.е., в данном случае, в добыче нефти и газа, обслуживают отрасль специализации и тем самым создают условия, необходимые для ее эффективного функционирования. К ним следует отнести транспорт общего пользования, топливно-энергетическое хозяйство района, материально-техническое снабжение, связь и ремонтную базу.

Освоение нефтегазовых ресурсов шельфа потребует огромных капитальных, материальных и трудовых затрат, и в том числе выполнения большого объема строительного-монтажных работ. Поэтому исключительно важную роль в повышении эффективности формирования КМНГК играет обоснование рациональных соотношений между темпами создания объектов отрасли специализации, сопряженных производств и объектов инфраструктуры.

Обеспечение сбалансированного развития взаимосвязанных отраслей и производств в нефтегазодобывающих районах (как на суше, так и на шельфе) возможно при соответствующем планировании и выполнении суботраслевых программ капитального строительства. С этой целью необходимо своевременно предусматривать создание и наращивание мощностей с учетом всех производственных связей и региональных особенностей.

Период освоения газового или нефтяного месторождения можно условно разделить на несколько этапов: S1 – подготовительный этап; S2 – вывод месторождения на проектный уровень добычи; S3 – период стабильной добычи; S4 – период падающей добычи.

Установление экономически целесообразных пропорций в формировании важнейших элементов нефтегазового комплекса необходимо на каждом этапе освоения нефтяных или газовых месторождений и в течение всего периода реализации основного объема капитальных вложений, выделяемых для создания и развития комплекса.

Данные проектов обустройства крупных газовых и нефтяных месторождений на суше в районах со сложными природно-климатическими условиями позволяют привести усредненные распределения капитальных вложений в разрезе этапов освоения районов газонефтедобычи по основным элементам комплекса (рисунок 2, где C11 – поэтапное распределение капиталовложений по основным

элементам комплекса, а основные элементы комплекса: E1 – отрасль специализации, E2 – производственная инфраструктура и сопряженное производство, E3 – социальная инфраструктура, E4 – строительная база). Как видно из приведенных данных, экономически целесообразная структура капитальных вложений при освоении месторождений нефти и газа на суше характеризуется тем, что на первый и второй этапы приходится основной объем капиталовложений – 41 и 34% соответственно. На первом этапе (подготовительный период) наибольший объем капитальных вложений должен направляться в производственную инфраструктуру и сопряженное производство, тогда же необходимо освоить их основную долю. Кроме того, на этом этапе создается основа строительной базы, для чего выделяется 15% общего объема капитальных вложений, планируемых на эти цели. Таким образом, на первом этапе ведутся работы по инфраструктурной подготовке территорий, т.е. созданию надежной транспортной системы объектов топливно–энергетического хозяйства, материально–технического снабжения, связи и т.д., имеющих общерайонное значение, мощностей строительных организаций и базы стройиндустрии,

а также первоочередных объектов основного производственного назначения.

На втором этапе (вывод месторождения на проектный уровень добычи), когда функционируют основные магистральные и промысловые дороги, завоз материально–технических ресурсов осуществляется регулярно, налажено энергоснабжение и т.п., опережающими темпами растут капитальные затраты на создание мощностей нефтегазодобычи, освоение которых должно составить здесь примерно 47% от суммарных капиталовложений в комплекс на данном этапе. Одновременно с этим продолжается строительство объектов производственной инфраструктуры локального значения.

С вводом в эксплуатацию месторождения возрастает численность промышленного и обслуживающего персонала, что обуславливает увеличение объема жилищного и культурно–бытового строительства. Поэтому на третьем этапе освоения (период стабильной добычи) в среднем около 44% от общего объема капиталовложений направляется на развитие социальной инфраструктуры, что составляет около 47% всех капиталовложений, выделяемых на формирование данного элемента нефтегазового комплекса.

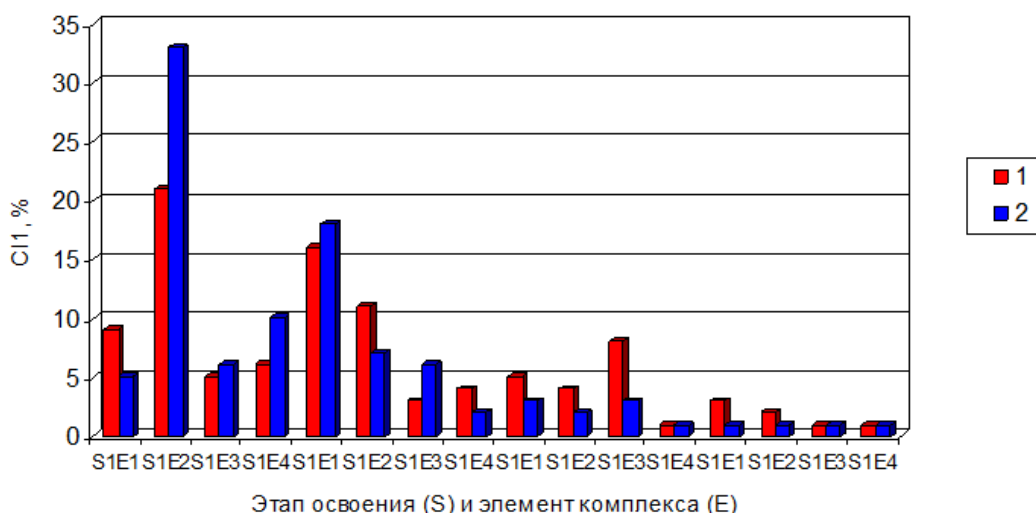


Рис. 2 – Поэтапное распределение расчетных капитальных вложений по основным элементам нефтегазового комплекса (C11, %) при освоении месторождений на суше (1) и при освоении морского нефтегазового месторождения на Каспийском шельфе (2) (без учета затрат на строительство скважин)

На четвертом этапе для поддержания достигнутого уровня добычи нефти (или хотя бы в целях замедления темпов ее падения), интенсивно применяются вторичные и третичные методы добычи, использование которых определяет дополнительные (и весьма крупные) капиталовложения как в отрасль специализации, так и в объекты локальной производственной инфраструктуры. В то же время анализ фактического распределения капиталовложений при освоении месторождений [7] свидетельствует о существенном отклонении его от проектного. В подготовительный период до 50% суммарных капиталовложений направлялось на создание объектов отрасли специализации. Основной объем затрат в производственную инфраструктуру приходился на второй и третий периоды освоения (более 60% общей суммы

капиталовложений по данному направлению). Поэтому значительный комплекс работ по обустройству месторождений проходил в условиях неподготовленности территорий в плане инфраструктурных объектов, что, с одной стороны, привело к удорожанию объектов отрасли специализации, а с другой – к несоответствию состояния инфраструктуры потребностям основной отрасли и после освоения месторождений, в связи с чем произошло повышение себестоимости основной продукции по сравнению с проектной.

Большие трудности связаны также и с ремонтным обслуживанием газодобывающих предприятий, из–за чего газопромысловое оборудование зачастую используется до полного износа и ежегодно подлежит списанию 7–10% всех его видов. Отрицательную роль играет, кроме того,

отсутствие централизованного энергоснабжения и низкий уровень развития строительной базы. В отличие от освоения нефтегазовых месторождений на суше при освоении морских нефтегазовых ресурсов существует объективная необходимость уже на первом этапе, т.е. до установки технологических платформ на месторождении осуществить строительство основных объектов сопряженного производства и инфраструктуры. Невыполнение данного условия (при отсутствии импорта технических средств освоения), по существу, исключает возможность ввода месторождения в эксплуатацию.

Примерное распределение расчетных капитальных вложений в разрезе этапов освоения нефтегазового месторождения, расположенного на Каспийском шельфе, приведено на рисунке 3, где С12 – структура капиталовложений по основным элементам комплекса.

Как видно из сравнения данных, существует общая тенденция в распределении

капиталовложений при освоении месторождений на суше и шельфе. Она характеризуется тем, что в обоих случаях на первый и второй этапы выделяется большая доля всех затрат, из них на первом этапе капиталовложения направляются, в основном, на создание объектов производственной инфраструктуры и сопряженного производства, а на втором этапе – в объекты отрасли специализации. В то же время наблюдаются и значительные различия в поэтапном и поэлементном распределении затрат. Прежде всего, при освоении морского месторождения выше доля затрат на объекты производственной инфраструктуры и сопряженного производства при одновременном снижении удельного веса затрат на объекты отрасли специализации. Увеличивается и доля первого этапа в суммарных капиталовложениях (54% против 41% при освоении месторождения на суше) и почти вдвое уменьшаются доли третьего и четвертого этапов (соответственно 13% против 25%).

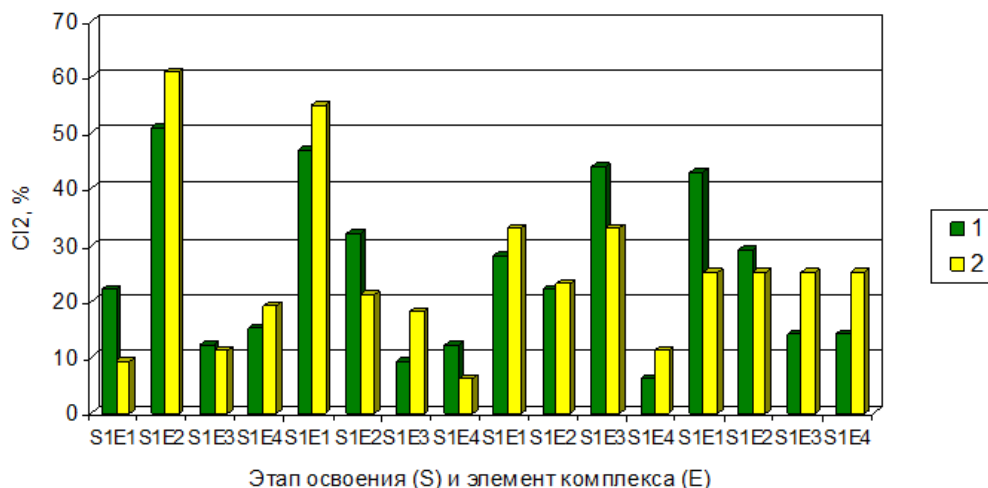


Рис. 3 – Структура распределения капитальных вложений по основным элементам комплекса нефтегазового месторождения (С12, %) при освоении месторождений на суше (1) и при освоении морского нефтегазового месторождения на Каспийском шельфе (2) (без учета затрат на строительство скважин)

На первом этапе освоения месторождения на шельфе 61% всех капитальных вложений направляется в производственную инфраструктуру и сопряженное производство, и лишь 9% – в отрасль специализации; на суше это соотношение составляет соответственно 51 и 22%. При этом при освоении морского месторождения уже на первом этапе необходимо освоить в среднем 77% затрат по объектам производственной инфраструктуры и сопряженного производства, тогда как на суше – около 55%. Существенно не совпадает по удельному весу и распределению затрат на последующих этапах освоения месторождения. Так, на втором этапе на создание объектов отрасли специализации на морском месторождении выделяется 55% от общих затрат этапа, что составляет около 67% от суммарных капиталовложений по данному элементу комплекса; на месторождение на суше соответственно 47 и 48%. Если на третьем этапе освоения в социальную инфраструктуру морского нефтегазового комплекса направляется лишь 19% затрат по этому элементу и 33% – по данному этапу, то на суше удельный вес этих затрат гораздо

выше – соответственно 47 и 44%. Таким образом, при планировании затрат на создание Каспийского морского нефтегазового комплекса большая их доля должна выделяться на начальный этап его формирования. Именно в этот период создается производственно-техническая база – материальная основа для широкомасштабного освоения ресурсов шельфа.

Для эффективного и динамичного освоения ресурсов Каспийского шельфа в первую очередь требуется создание базы по производству платформ и наплавных сооружений, а к началу добычи нефти и газа на конкретном морском месторождении необходимо завершить строительство большинства его сухопутных объектов, продолжить подводные и магистральные трубопроводы, выполнить значительный объем работ по объектам вспомогательного и обслуживающего назначения.

**Заключение**

По мере завершения строительства на объектах обустройства одного месторождения (с выводом его на проектный уровень добычи)

высвобождающиеся строительные мощности используются на освоении очередного месторождения. При этом созданные на первом этапе мощности сопряженного производства и производственной инфраструктуры, отдельные объекты отрасли специализации (магистральные

газо- и нефтепроводы, завод сжижения газа и др.), а также производственный потенциал строительной базы будут в значительной мере обеспечивать освоение новых месторождений, а затраты на развитие этих мощностей будут несравнимо меньше, чем в первый период.

#### Литература

1. Лобковский, Л.И. Геоэкологический мониторинг морских нефтегазоносных акваторий / Л.И. Лобковский, Д.Г. Левченко, А.В. Леонов, А.К. Амбросимов. – М.: Наука, 2005. – 326 с.
2. Мурзагалиев, Д.М. Сейсмо-геодинамические условия разработки нефтегазовых месторождений на шельфе Северного Каспия / Д.М. Мурзагалиев. - Геология, география, глобальная энергия. – 2011. – № 4. – С. 32–38.
3. Бойцун, И.И. Методика формирования комплекса морской транспортировки нефти для закрытых акваторий морей (на примере Каспийского региона). Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.03 – Проектирование и конструкция судов / И.И. Бойцун. - СПб.: Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 2010. – 216 с.
4. Демешко, Г.Ф. Паромные перевозки на грузовых линиях акватории Каспийского моря / Г.Ф. Демешко, С.Н. Рюмин, Ф.А. Морейнис и др. - Труды Крыловского государственного научного центра. – 2015. – № 89.2 (373). – С. 161–174.
5. Крылов, А.А. Некоторые аспекты донных сейсмологических исследований и мониторинга на объектах нефтегазовой добычи и транспортировки на шельфе / А.А. Крылов. - Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 9. – С. 20–25.
6. Трубецкой, К.Н. Геоэкология освоения недр Земли и экогеотехнологии разработки месторождений / К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко. - М.: Научтехлитиздат, 2015. – 357 с.
7. Охтилев, М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. - М.: Наука, 2006. – 410 с.
8. Костюков, В.Е. Диагностика и мониторинг технического состояния газопроводов при обеспечении надежности, экологической безопасности и управляемости транспорта газа / В.Е. Костюков, Ю.В. Ващев, И.Г. Вышиванный и др. - Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет (НГТУ), 2007. – 204 с.
9. Бреслав, Л.Б. Теория обоснования экономических решений. Исследование операций / Л.Б. Бреслав. - СПб.: Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, 2000. – 98 с.
10. Мазур, И.И. Инвестиционно-строительный инжиниринг. Справочник для профессионалов / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро, А.В. Гинзбург и др. - М.: Елима, 2008. – 1216 с.

#### References

1. Lobkovskiy, L.I. Geoekologicheskii monitoring morskikh neftegazonosnykh akvatoriy / L.I. Lobkovskiy, D.G. Levchenko, A.V. Leonov, A.K. Ambrosimov. – M.: Nauka, 2005. – 326 s.
2. Murzagaliyev, D.M. Seysmo-geodinamicheskiye usloviya razrabotki neftegazovykh mestorozhdeniy na shel'fe Severnogo Kaspiya / D.M. Murzagaliyev. - Geologiya, geografiya, global'naya energiya. – 2011. – № 4. – S. 32–38.
3. Boytsun, I.I. Metodika formirovaniya kompleksa morskoy transportirovki nefti dlya zakrytykh akvatoriy morey (na primere Kaspiyskogo regiona). Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk po spetsial'nosti 05.08.03 – Proyektirovaniye i konstruktsiya sudov / I.I. Boytsun. - SPb.: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy morskoy tekhnicheskiy universitet, 2010. – 216 s.
4. Demeshko, G.F. Paromnyye perevozki na gruzovykh liniyakh akvatorii Kaspiyskogo morya / G.F. Demeshko, S.N. Ryumin, F.A. Moreynis i dr. - Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra. – 2015. – № 89.2 (373). – S. 161–174.
5. Krylov, A.A. Nekotoryye aspekty donnykh seysmologicheskikh issledovaniy i monitoringa na ob'yektakh neftegazovoy dobychi i transportirovki na shel'fe / A.A. Krylov. - Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse. – 2015. – № 9. – S. 20–25.
6. Trubetskoy, K.N. Geoekologiya osvoyeniya nedr Zemli i ekogeotekhnologii razrabotki mestorozhdeniy / K.N. Trubetskoy, YU.P. Galchenko. - M.: Nauchtekhlitizdat, 2015. – 357 s.
7. Okhtilev, M.YU. Intellektual'nyye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoy dinamiko slozhnykh tekhnicheskikh ob'yektov / M.YU. Okhtilev, B.V. Sokolov, R.M. Yusupov. - M.: Nauka, 2006. – 410 s.
8. Kostyukov, V.Ye. Diagnostika i monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya gazoprovodov pri obespechenii nadezhnosti, ekologicheskoy bezopasnosti i upravlyayemosti transporta gaza / V.Ye. Kostyukov, YU.V. Vashchev, I.G. Vyshivannyi i dr. - Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet (NGTU), 2007. – 204 s.
9. Breslav, L.B. Teoriya obosnovaniya ekonomicheskikh resheniy. Issledovaniye operatsiy / L.B. Breslav. - SPb.: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy morskoy tekhnicheskiy universitet, 2000. – 98 s.
10. Mazur, I.I. Investitsionno-stroitel'nyy inzhiniring. Spravochnik dlya professionalov / I.I. Mazur, V.D. Shapiro, A.V. Ginzburg i dr. - M.: Yelima, 2008. – 1216 s.



УДК [332.133.6:629.12]: 004.38"313"(470.46)

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

**Елена Прокофьевна Карлина**

доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Производственный менеджмент»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: e\_karlina@list.ru

**Герман Александрович Тактаров**

доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Финансы и учет»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: pokusaev@astu.org

**Анастасия Сергеевна Коваленкова**

старший преподаватель кафедры «Производственный менеджмент»  
Астраханский государственный технический университет  
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16  
e-mail: fartuschina@yandex.ru

### Аннотация

Современный этап развития российского судостроения характеризуется стабилизацией темпов экономического роста и активизацией процессов интеграции в отрасли, направленных на удовлетворение потребностей внутреннего рынка в среднесрочном периоде.

Открытие и разработка нефтегазовых месторождений на шельфе Каспия обеспечили формирование портфеля заказов ведущих предприятий судостроительного комплекса Астраханской области в 2012-2018 гг., специализация и имеющиеся производственные мощности которых позволяют строить уникальные технические средства для поиска и добычи углеводородного сырья на морском шельфе.

В результате исследования производственного потенциала судостроительных предприятий региона выделены факторы, определяющие уровень его развития, сформулированы выводы о необходимости ускорения темпов обновления основных фондов на основе синхронизации мероприятий инвестиционных программ модернизации.

Перспективным направлением развития судостроительных предприятий региона определена цифровизация судостроительного производства на базе технологий PLM (product lifecycle management) и Asset Integrity Management, структурированных по этапам жизненного цикла судостроительной продукции. Внедрение цифровых технологий в судостроении предложено осуществлять поэтапно в рамках разработки отраслевой Программы модернизации, целевыми ориентирами которой являются инновационное обновление основных фондов и интеграция цифровых технологий в процессы управления жизненным циклом судостроительной продукции.

**Ключевые слова:** судостроение, производственный потенциал, нефтегазовые месторождения Каспия, морские платформы, жизненный цикл, цифровизация производства.

## STATUS AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF THE SHIPBUILDING COMPLEX OF ASTRAKHAN REGION UNDER THE CONDITIONS OF DIGITALIZING THE PRODUCTION

**Elena P. Karlina**

Dr.Sci.(Economics), Professor, Professor of the Department of "Production Management"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: e\_karlina@list.ru

**German A. Taktarov**

Dr.Sci.(Economics), Professor, Professor of the Department of "Finance and Accounting"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: pokusaev@astu.org

**Anastasia S. Kovalenkova**

Senior Lecturer of the Department of "Production Management"  
Astrakhan State Technical University  
414056, Astrakhan, Tatishcheva, 16  
e-mail: fartuschina@yandex.ru

### Abstract

The current stage of development of the Russian shipbuilding industry is characterized by stabilization of economic growth rates and the intensification of integration processes in the industry, aimed at meeting the needs of the domestic market in the medium term.

The discovery and development of oil and gas fields on the Caspian shelf ensured the formation of an order portfolio of the leading enterprises of the shipbuilding complex of the Astrakhan Region in 2012-2018, the specialization and available production facilities of which allow building unique technical means for the search and production of hydrocarbons on the sea shelf.

As a result of the study of the production potential of shipbuilding enterprises in the region, factors determining its level of development were identified, conclusions were drawn up on the need to accelerate the pace of fixed assets renewal based on the synchronization of modernization investment program measures.

A promising direction for the development of shipbuilding enterprises in the region is the digitalization of shipbuilding production based on PLM (product lifecycle management) and Asset Integrity Management technologies, structured by the life cycle stages of shipbuilding products. The introduction of digital technologies in shipbuilding has been proposed to be on a phased basis as part of the development of a sectoral modernization program, the benchmarks of which are the innovative renewal of fixed assets and the integration of digital technologies into the lifecycle management processes of shipbuilding products.

**Keywords:** shipbuilding, production potential, Caspian oil and gas fields, offshore platforms, life cycle, digitalization of production.

### Введение

Современные тенденции развития добычи углеводородов позволяют констатировать изменение вектора разработки и эксплуатации нефтегазовых месторождений – увеличение доли добычи нефти и газа на континентальном шельфе, на котором сосредоточено, по оценкам экспертов, до 30% мировых запасов. В настоящее время на акваториях морей и океанов разведано более 1300 месторождений нефти и газа, из которых около 300 находятся в стадии разработки [1].

Северный Каспий является одним из ключевых регионов России добычи нефти и газа из морских месторождений. В результате геологоразведочных работ, проведенных ПАО «ЛУКОЙЛ», на шельфе Каспия были открыты 8 месторождений, шесть из которых относятся к крупнейшим: им. Ю. Корчагина, В. Филановского, Ю. Кувыкина, Хвалынского, 170-й километр, Ракушечное, суммарные извлекаемые запасы которых превышают 1 млрд. 870 млн. туг.

Выгодное географическое положение производственных площадок по отношению к Каспийскому морю, уникальный опыт строительства и модернизации буровых платформ обусловили приоритетность размещения заказов строительства технических средств для разведки и добычи углеводородов на шельфе Каспия на судостроительных предприятиях Астраханской области. В связи с этим, возникает необходимость изучения производственного потенциала судостроительных предприятий как фактора повышения их конкурентоспособности.

Целью исследования является систематизация и обобщение результатов, представленных в работах [2,3,4,5,6,8], и обоснование перспективных направлений развития регионального судостроительного комплекса в условиях цифровизации производства. Для реализации указанной цели необходимо решение следующих задач:

- выявить факторы, определяющие уровень развития производственного потенциала судостроительных предприятий;

- оценить возможность цифровизации судостроительного производства и разработать рекомендации по ее внедрению.

### 1. Характеристика производственного потенциала судостроительных предприятий Астраханской области

Разработка и эксплуатация нефтегазовых месторождений на шельфе Северного Каспия предполагает строительство и использование морских технических средств: ледостойких (буровых) платформ (ЛСП), платформ жилых модулей (ПЖМ), райзерных блоков (РБ), центральных технологических платформ (ЦТП), блок-кондукторов (БК), переходных мостов (ПМ) и различного вида судов: технических, вспомогательных, научно-исследовательских и др.

Проектирование и строительство морских технических средств для разработки месторождений Северного Каспия является уникальным продуктом, так как их конструктивные особенности должны учитывать, с одной стороны: характеристики судоходных фарватеров р. Волги и Волго-Каспийского судоходного канала; ледовые характеристики района эксплуатации платформы; возможное изменение уровня моря на долгосрочный период; ограничение осадки при транспортировке по Волго-Каспийскому каналу, высотный габарит при транспортировке по р. Волга, с другой - малые глубины нефтегазовых месторождений на Каспии (от 7 до 15 м), что предопределяет применение нестандартных решений для их разработки.

Производственный потенциал судостроительного комплекса региона обусловлен направлениями и видами деятельности предприятий, входящих в его состав и включает 10 крупных и средних судостроительных и судоремонтных предприятий [2]:

- производственные площадки под управлением АО «Объединенная судостроительная корпорация»: Группа «Каспийская энергия» (АО «Астраханское судостроительное производственное объединение» (АСПО): головная верфь и площадка №3, АО «ССЗ

«Лотос») и Астраханский судоремонтный завод – филиал ОАО «Центр судоремонта «Звездочка» (табл. 1);

- ОАО «ССЗ «Красные баррикады» (в настоящее время проходит процедуру банкротства); ЗАО «Ахтубинский судостроительно-судоремонтный завод»; ОАО «Волго-Каспийский судоремонтный завод»; ОАО «Первомайский судоремонтный завод»; ООО «Галактика»; ООО «Морской судостроительный завод – 2».

Таблица 1

**Производственный потенциал якорных судостроительных предприятий Астраханской области**

№ / №	Площадка	Производительность, т металла в год	Габариты судов, м*	Персонал, чел.
1.	АСПО, Головная верфь	12 000	150x25	2 000
2.	АСПО, площадка №3 (ССЗ им. 3-го Интернационала)	7 000	170x27	620
3.	Судостроительный завод «Лотос»	18 000	130x32	1 000

\* возможно увеличение габаритов

Основными видами продукции, производимой предприятиями судостроительного комплекса региона по итогам 2018 г. являются:

- строительство морских технических объектов для разработки и обустройства месторождений на шельфе Каспийского моря (38%);

- гражданское судостроение: строительство корпусов судов и полнокомплектных судов для нужд морских и речных грузо- и пассажироперевозок, вспомогательного флота (56%);

- военное судостроение по государственному заказу (6%).

По полному кругу судостроительных предприятий региона исполненный портфель заказов по итогам 2018 г. составил 13,28 млрд. руб., что на 7,3% выше уровня 2017 г. Высокие темпы роста выручки в 2016-2018 гг. были обусловлены полной загрузкой производственных мощностей региональных предприятий судостроения за счет выполнения ряда проектов:

- в области гражданского судостроения: строительства круизного лайнера PV300VD, пассажирского колесного теплохода ПКС 180 «Золотое кольцо», танкеров-химовозов RST-25, сухогруза RSD-49, несамоходных барж-площадок 7514 и др.;

- реализации 6 проектов по строительству морских технических средств (рис. 1).



Рис. 1. Объекты месторождения им. В. Филановского (1-я очередь)

Представленные количественные характеристики использования производственного потенциала позволяют позиционировать судостроительный комплекс региона, как развитый и достаточно технологичный, имеющий возможность выполнять крупные масштабные заказы как российских, так и международных компаний.

**2. Оценка и структура ключевых сегментов рынка сбыта продукции судостроительного комплекса**

Наиболее крупным сегментом рынка сбыта судостроительного комплекса региона выступает офшорное судостроение, потенциальный объем которого на Каспии оценивается в размере 450,0 млрд. руб. до 2035 г. По данным ПАО «Лукойл», в качестве объектов разработки до 2035 г. будут выступать: структура Сарматская (2026 г.), Хазри (2019 г.), Титонская и Восточно-Ракушечная (2022 г.), Западно-Сарматская (2029 г.), Южная (2033 г.), что потребует строительства шестнадцати буровых установок общим весом 192 000 тонн.

В этой связи, потенциальная нагрузка судостроительных предприятий региона будет определяться дальнейшей реализацией программы комплексного освоения шельфа Каспия ПАО «ЛУКОЙЛ», при этом их доля в сегменте офшорного судостроения (по объектам обустройства Северного Каспия) по данным АО «ОСК» может составить 30% до 2025 г., в стоимостном выражении - около 97,5 млрд. руб. [3,4].

Перспективный рынок продукции гражданского судостроения для судостроительных предприятий Астраханской области в 2019 – 2025 гг. формируется следующими сегментами: строительство грузовых судов класса «Волго- Дон макс»; нефтеналивных барж, понтонов и др.; строительство пассажирских судов класса «река» и «река-море»; круизного пассажирского судна смешанного река-море плавания проекта PV300VD; среднетоннажных и малотоннажных рыбопромысловых судов; инновационных скоростных маломерных судов специального назначения на территории ОЭЗ ППТ «Лотос». Прогнозируемый объем рынка гражданского судостроения предприятий региона на период до 2025г. – 114,0 млрд. руб. [3,4].

Объемы внутреннего рынка военного судостроения для региона определяются направлениями государственной политики в области военного развития и оцениваются в размере 18 млрд. руб. до 2025 г.

Таким образом, совокупный потенциальный портфель заказов судостроительного комплекса региона прогнозируется в размере 229,5 млрд. руб. до 2025 г., стоимостная структура которого представлена на рис. 2.



Рис. 2. Структура потенциального рынка сбыта судостроительного комплекса региона до 2025 г., %

Вышеизложенное позволяет выделить следующие факторы, определяющие уровень развития производственного потенциала судостроительного комплекса региона:

- наличие производственных мощностей и высококвалифицированного персонала позволяют строить суда различной сложности и назначения, в том числе морские технические средства;

- выгодное географическое положение создает конкурентное преимущество для размещения заказов на строительство морских платформ для нефтегазовых месторождений Северного Каспия;

- развитие процессов интеграции в рамках АО «ОСК» обеспечивает загрузку производственных мощностей предприятий и финансирование модернизации основных фондов [2];

- функционирование ОЭЗ ППТ «Лотос» на территории Астраханской области позволяет создать собственное производство судового и энергетического оборудования, комплектующих и др., что снижает импортозависимость судостроительного производства [5].

### 3. Проблемы и перспективы развития судостроительного производства Астраханской области в условиях цифровизации

Основной проблемой развития судостроительных предприятий региона является наличие морально и физически устаревшей технико-технологической базы: активная часть основных производственных фондов в судостроении имеет износ около 70%. При этом темпы обновления основных фондов, в том числе активной части, остаются низкими – 3-5% в 2015-2017 г.г., что не обеспечивает их воспроизводство на высокотехнологичной основе [6].

Модернизация основного производства, осуществляемая предприятиями в последние годы, носит дискретный характер, оставляя «за бортом» использование современных технологий цифрового моделирования и проектирования как судостроительной продукции, так и

производственных процессов на всем протяжении жизненного цикла строительства судов.

Единственным примером использования технологий трехмерного проектирования является привлечение ПАО «Лукойл» компании CNGS Engineering к разработке проектов ЛСП-1 и ЛСП-2 и ледостойкой центральной технологической платформы для месторождения им. В. Филановского (ЦТП) на основе программных решений Bentley: Bentley AutoPIPE, Bentley Navigator, Bentley Raceway and Cable Management, MicroStation, PlantSpace Design Series, ProjectWise, SACS, Structural Modeler, что позволило разработать инновационную концепцию проектирования ледостойких оснований с опорными блоками (рис.3), выдерживающими вес платформы (20 750 т) и предотвращающими возможный ущерб от ледовой нагрузки, и сократить сроки проектирования в 2 раза [7].



Рис. 3. Трехмерная модель ЛСП-1

Организация и управление строительством судов и морских технических средств для разработки и обустройства месторождений представляет собой сложный процесс, характеризующийся длительным циклом постройки, высокой трудоемкостью работ, неравномерностью потребления всех видов ресурсов, сочетанием рабочего проектирования с параллельным строительством и т.д. [8] и, как следствие – значительным объемом обрабатываемой информации, что предопределяет цифровизацию судостроительного производства на основе применение интегрированных технологий управления жизненным циклом судостроительной продукции в целом.

В настоящее время на судостроительных предприятиях региона используются отдельные элементы прикладного программного обеспечения: CAD, MCAD, CAM и др., направленные на выполнение автоматизированного проектирования составных частей объекта, что не позволяет комплексно решать проблемы, возникающие в процессе организации производства и управления строительством судов и морских платформ.

В качестве программно-технического инструментария решения данной задачи авторы рекомендуют использовать широко распространенные современные IT- системы:

- PLM (product lifecycle management): технология управления жизненным циклом изделия, обеспечивающая управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации. Главным преимуществом данной

технологии является возможность интеграции автоматизированных систем САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и др. в единое информационное пространство.

- Asset Integrity Management — решение компании Bureau Veritas на платформе Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE, включающее подсистемы Designed For Sea, On Time To Sea, Optimized Production For Sea, Build For Sea, Winning Bid For Sea, разработанные специально для строительства морских буровых платформ и позволяющие судостроителям моделировать, анализировать и испытывать конструкцию проектов, оптимизировать производственные операции, эффективно планировать и управлять проектами. Преимуществом данных программ является возможность их использования как локально, так и в облаке [9].

Структуризация автоматизированных подсистем по стадиям жизненного цикла судостроительной продукции представлена на рис. 4.

Внедрение цифрового производства судостроительной продукции потребует от судостроительных предприятий трансформации бизнес-модели, целевой функцией которой будет являться создание единой цепочки стоимости на

основе управления интегрированным жизненным циклом продукта - от проектирования до производства и обслуживания [2].

В соответствии с теорией жизненного цикла компании (предприятия) проходят следующие стадии: зарождение, зрелость, упадок и возрождение, каждой из которых соответствует конкретный набор ключевых проблем, темпы роста, тип организационной структуры, уровень развития взаимодействия между подразделениями, степень формализации и др.

Судостроительные предприятия региона как подсистемы тяжелой промышленности, находятся на стадии зрелости в силу их длительного существования на рынке и характеризуются значительной капиталоемкостью основного производства с длительным сроком окупаемости инвестиций.

В результате, как уже было отмечено, инвестиционные программы судостроительных предприятий направлены на решение локальных проблем модернизации производства, что не позволяет осуществить масштабную цифровизацию из-за несоответствия технического состояния основных фондов современным требованиям.

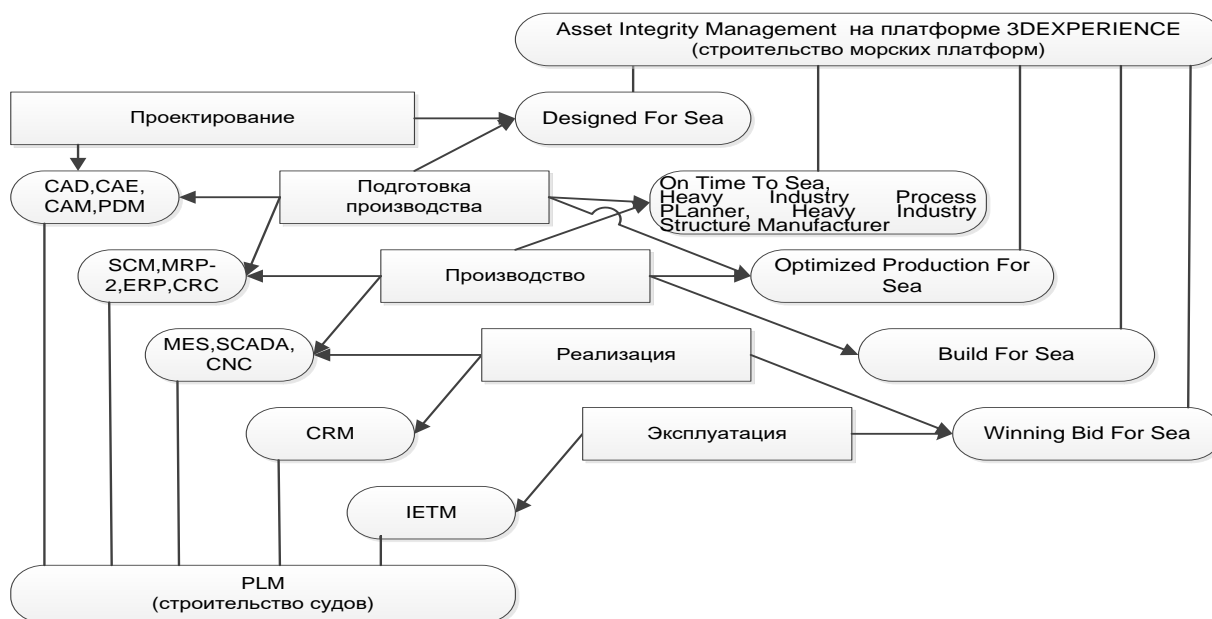


Рис. 4. Структуризация программных продуктов по стадиям жизненного цикла судостроительной продукции (составлено на основе [10])

Для решения данной проблемы предлагается разработать отраслевую Программу модернизации, предусматривающей системное обновление основных фондов якорных судостроительных предприятий на основе внедрения современных интегрированных технологий управления жизненным циклом продукта.

Реализация Программы модернизации позволит систематизировать процессы внедрения цифровых технологий и создать технологическую платформу как особый вид бизнес-модели предприятий, основанный на системе инноваций, присущих конкретной экосистеме [11,

организационные и экономические аспекты которой применительно к судостроительным предприятиям являются направлениями дальнейших исследований авторов.

**Заключение**

Систематизация и обобщение результатов исследований, представленных в работах [2,3,4,5,6, 8] и данной статьи, позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Судостроительный комплекс Астраханской области представляет собой совокупность предприятий, специализация и производственный потенциал которых выступают основой развития

конкурентных преимуществ на рынке строительства судов различного назначения и морских технических средств для разработки и обустройства нефтегазовых месторождений на Каспийском шельфе.

2. Интеграция судостроительных предприятий региона в структуру АО «ОСК» положительно отразилась на формировании портфеля заказов исследуемых предприятий на 2012-2018 гг. и способствовала реализации программ модернизации и обновления основных фондов.

3. Функционирование ОЭЗ ППТ «Лотос» в Астраханской области направлено на создание импортозамещающих производств судового и

энергетического оборудования, навигационных систем, комплектующих и др., что позволит снизить себестоимость и сократить сроки строительства судостроительной продукции.

4. Приоритетным направлением развития судостроительных предприятий должна стать цифровизация производства, которая возможна только при условии разработки отраслевой Программы модернизации, целевыми ориентирами которой являются инновационное обновление основных фондов и интеграция цифровых технологий в процессы управления жизненным циклом судостроительной продукции.

### Литература

1. Еремин Н.А, Кондратюк А.Т., Еремин Ал. Н. Ресурсная база нефти и газа Арктического шельфа России. Институт проблем нефти и газа РАН. Электрон. дан. Режим доступа: [http://www.ipng.ru/files/\\_0c7ee907-47d4-453a-8133-cc43a481f478-EreminNA\\_Kondrat%27uk\\_EreminAN\\_2010\\_Resource\\_base.pdf](http://www.ipng.ru/files/_0c7ee907-47d4-453a-8133-cc43a481f478-EreminNA_Kondrat%27uk_EreminAN_2010_Resource_base.pdf)
2. Карлина Е.П., Левина Я.Г. Развитие базовых компетенций судостроительных предприятий как основа стратегического управления кластером // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2015. – №1. – С. 38-46.
3. Дубинина Н.А. Прогнозная оценка развития предприятий судостроительного кластера Астраханской области // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2016. – №1. – С. 49-57.
4. Мичурина О.Ю. Формирование спроса на продукцию интегрированных структур в судостроении // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2016. – №4. – С. 34-45.
5. Крюкова Е.В. Развитие свободной экономической зоны Астраханской области: миф и реальность // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3. Экономика. Экология. – 2017. – №1 (38). – С. 62-67.
6. Карлина Е.П., Фартушина А.С., Григорьев М.А. Государственно-частное партнерство как инструмент реализации реиндустриализации судостроительного кластера // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2016. – №4. – С. 7-13.
7. Компания CNGS Engineering ускорила разработку морского месторождения нефти с помощью решения Bentley для структурного анализа и проектирования // Инструменты конструктора-технолога. – 2013. – №9. Электрон. дан. Режим доступа: <https://sapr.ru/article/24050>
8. Тактаров Г.А., Шулимова М.А., Шпаченков Ю.А. Моделирование процессов реализации концепций лизинга и аутсорсинга в судостроении // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2015. – №1. – С. 47-55.
9. Решение бизнес-проблем судостроительной отрасли. Электрон. дан. Режим доступа: <https://ifwe.3ds.com/ru/marine-offshore9>. Петров А.В. Основы САПР в машиностроении. Курган: Изд-во Курганского гос. Ун-та, 2001. – 139 с.
10. Петров А.В. Основы САПР в машиностроении / Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2001. – 139 с.
11. Орехова С.В., Романова О.А. Трансформация бизнес-модели промышленного предприятия на разных стадиях жизненного цикла // Управленец. – 2016. – №5(63). – С. 2-15.

### References

1. Eremin N.A, Kondratyuk A.T., Eremin Al. N. Resursnaya baza nefti i gaza Arkticheskogo shel'fa Rossii. Institut problem nefti i gaza RAN. Elektron. dan. Rezhim dostupa: [http://www.ipng.ru/files/\\_0c7ee907-47d4-453a-8133-cc43a481f478-EreminNA\\_Kondrat%27uk\\_EreminAN\\_2010\\_Resource\\_base.pdf](http://www.ipng.ru/files/_0c7ee907-47d4-453a-8133-cc43a481f478-EreminNA_Kondrat%27uk_EreminAN_2010_Resource_base.pdf)
2. Karlina E.P., Levina Y.G. Razvitiye bazovyx kompetenciy sudostroitel'ny'x predpriyatij kak osnova strategicheskogo upravleniya klasterom. Vestnik Astraxanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika. 2015. № 1. pp. 38-46.
3. Dubinina N.A. Prognoznaya ocenka razvitiya predpriyatij sudostroitel'nogo klastera Astraxanskoj oblasti. Vestnik Astraxanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika. 2016. № 1. pp. 49-57.
4. Michurina O.Y. Formirovanie sprosna na produkciju integrirovannyx struktur v sudostroenii. Vestnik Astraxanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika. 2016. № 4. pp. 34-45.
5. Kryukova E.V. Razvitiye svobodnoy ekonomicheskoy zony Astraxanskoy oblasti: mif i realnost. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3. Ekonomika. Ekologiya. 2017. № 1 (38).pp. 62–67.
6. Karlina E.P., Fartushina A.S., Grigor'ev M.A. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo kak instrument realizacii reindustrializacii sudostroitel'nogo klastera. Vestnik Astraxanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika. 2016. № 4. pp. 7-13.
7. Kompaniya CNGS Engineering uskorila razrabotku morskogo mestorozhdeniya nefti s pomoshh'yu resheniya Bentley dlya strukturnogo analiza i proektirovaniya. Instrumenty konstruktora-texnologa. 2013. №9. Elektron. dan. Rezhim dostupa: <https://sapr.ru/article/24050>

8. Taktarov G.A., Shulimova M.A., Shpachenkov Yu.A. Modelirovanie processov realizacii koncepcij lizinga i autorsoringa v sudostroenii. Vestnik Astraxanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika. 2015. № 1. pp. 47-55.
9. Reshenie biznes-problem sudostroitel'noj otrasli. Elektron. dan. Rezhim dostupa: <https://ifwe.3ds.com/ru/marine-offshore>
10. Petrov A.V. Osnovy SAPR v mashinostroenii. Kurgan: Izd-vo Kurganskogo gos. un-ta, 2001. 139 p.
11. Orekhova S.V., Romanova O.A. Transformaciya biznes-modeli promyshlennogo predpriyatiya na raznyh stadiyah zhiznennogo cikla. Upravlenec. 2016. № 5(63). pp. 2-15.



## Научный журнал ВАК и WEB of SCIENCE «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Электронное сетевое (ISSN 2588-0233) и печатное ([ISSN № 2073-7173](#)) издание  
190121 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д.3  
**e-mail: [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru)    [www.morintex.ru](http://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 – публичная оферта размещена на сайте [www.morintex.ru](http://www.morintex.ru)
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 и акт к нему от каждого из авторов
6. Рубрикатор

Перечисленные документы (кроме акта экспертизы) могут быть переданы в редакцию по электронной почте по адресу [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru) (поэтому же адресу осуществляется текущая переписка с редакцией).

Документы должны быть присланы по почте в адрес редакции.

**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.

**Плата с аспиранта в случае, если он является единственным автором, за публикацию статьи не взимается.**

**Стоимость публикации с 2019г. 12000 рублей по выставляемому по запросу счету.**

Авторы несут ответственность за содержание статьи и за сам факт ее публикации. Редакция журнала не несет ответственности за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Если публикация статьи повлекла нарушение чьих-либо прав или общепринятых норм научной этики, то редакция журнала вправе изъять опубликованную статью.

**Главный редактор научного журнала  
"МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"  
д.т.н. проф. Никитин Н.В.**



**Есть на складе издательства НИЦ МОРИНТЕХ****Гайкович А. И.****Основы теории проектирования сложных технических систем, СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2001, 432 стр.**

Монография посвящена проблеме проектирования больших разнокомпонентных технических систем. Изложение ведется с позиций системного анализа и достижений прикладной математики и информатики.

Есть в продаже: **цена 420 руб. + пересылка**

**Архипов А. В., Рыбников Н. И.****Десантные корабли, катера и другие высадочные средства морских десантов, СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2002, 280 стр.**

Изложен опыт проведения морских десантных операций, их особенности, характерные черты и тенденции развития этого вида боевых действий. Рассмотрены наиболее существенные аспекты развития десантных кораблей, катеров и других высадочных средств морских десантов. Затронуты некоторые особенности проектирования десантных кораблей и возможные пути совершенствования расчетных методов.

Есть в продаже: **цена 320 руб. + пересылка**

**Караев Р. Н., Разуваев В. Н., Фрумен А. И., Техника и технология подводного обслуживания морских нефтегазовых сооружений. Учебник для вузов, СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2012, 352 стр.**

В книге исследуется роль подводно-технического обслуживания в освоении морских нефтегазовых месторождений. Приводится классификация подводного инженерно-технического обслуживания морских нефтепромыслов по видам работ.

Изложены основные принципы формирования комплексной системы подводно-технического обслуживания морских нефтепромыслов, включающей использование водолазной техники, глубоководных водолазных комплексов и подводных аппаратов.

Есть в продаже: **цена 1500 руб. + пересылка**

**Шауб П. А.****Качка поврежденного корабля в условиях морского волнения, СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 144 стр.**

Монография посвящена исследованию параметров бортовой качки поврежденного корабля, судна с частично затопленными отсеками в условиях морского волнения. Выведена система дифференциальных уравнений качки поврежденного корабля с учетом нелинейности диаграммы статической остойчивости, начального угла крена, затопленных отсеков III категории.

Книга предназначена для специалистов в области теории корабля, а также может быть полезной для аспирантов, инженеров и проектировщиков, работающих в судостроительной области, занимающихся эксплуатацией корабля, судна.

Есть в продаже: **цена 350 руб. + пересылка**

**Гидродинамика малопогруженных движителей: Сборник статей, СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 224 стр.**

В сборнике излагаются результаты исследований гидродинамических характеристик частично погруженных гребных винтов и экспериментальные данные, полученные в кавитационном бассейне ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова в 1967–2004 гг. его эксплуатации при отработке методик проведения испытаний на штатных установках.

Есть в продаже: **цена 250 руб. + пересылка**

**Гайкович А. И.****Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов т. 1, 2, СПб., НИЦ МОРИНТЕХ, 2014**

Монография посвящена теории проектирования водоизмещающих кораблей и судов традиционной гидродинамической схемы. Методологической основой излагаемой теории являются системный анализ и математическое программирование (оптимизация).

Есть в продаже: **цена 2-х т. 2700 рублей + пересылка**