

# MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

10 Hz | 20 Hz | 30 Hz | 40 Hz | 50 Hz | 60 Hz | 70 Hz | 80 Hz | 90 Hz | 100 Hz | 110 Hz | 120 Hz | 130 Hz | 140 Hz | 150 Hz | 160 Hz | 170 Hz | 180 Hz | 190 Hz

# МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

1001101001101111001100100011000101001110100100011000110101011110100001001001010010011  
01000110110000011011011000101001001110100111001110100111010011010101000011101100111001010  
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001  
0101000110111010010001001101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110  
110101100001010111101001010011011010101100010110010101011010010100111010101101001101001  
100110100110111110011001000110001010011101001000110001110101011110100001001001010010011  
010001101100000110110110001010011101001110011101001110100110101000011101100111001010  
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001  
01010001101110100100010011101100101011001110101001110100110001010101101010010011001110  
110101100001010111101001010011101011001100011000110001100011010011101010001101001101001

№ 3 (29) Т. 2 2015



01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010  
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001  
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110  
1101011000010101111010010100111010101100010110101011010010100111010101  
10011010011011111001100100011000101001110100101011000110101011110101101  
010001101100000110110110001010010011101001110011101001110100110101000010 101001  
011





# МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 3 (29) Т.2 2015 [www.morintex.ru](http://www.morintex.ru) ISSN 2073-7173

Тематика: кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление

## Главный редактор:

Н.В. Никитин, д.т.н., профессор

## Редакционный Совет

### Сопредседатели

И.Г.Захаров, заместитель генерального директора ЦМКБ «Алмаз»

Е.М. Апполонов, Ректор, СПбГМТУ

### Члены Совета

А.В. Архипов, начальник НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ

А.И. Гайкович, генеральный директор, НИЦ "МОРИНТЕХ"

Г.Н. Муру, генеральный директор, 51 ЦКТИ судоремонта

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

Пентти Куяла, профессор, университет Аалто, Финляндия

К.В. Рождественский, проректор по международному сотрудничеству, СПбГМТУ

С.П. Столяров, декан факультета корабельной энергетики и автоматизации, СПбГМТУ

В.Н. Тряскин, проректор, СПбГМТУ по учебной работе

А.К. Филимонов, проректор, СПбГМТУ по научной работе

А.В. Шляхтенко, генеральный директор-генеральный конструктор, ЦМКБ «Алмаз»

## Редакционная коллегия

### Заместители главного редактора

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

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

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

### Члены Редколлегии

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

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

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

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

А.И. Голосов, д.т.н., профессор, Центр Технологии Судостроения и Судоремонта

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

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

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

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

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

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

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

**Периодичность издания** — 4 номера в год

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

Рукописи представляются в редакцию в электронном виде по e-mail: [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru)

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

**Свидетельство о регистрации СМИ** ПИ № ФС77-32382 от 09.06.2008

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

**ISSN 2073-7173**

**Адрес:** 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 научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

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

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

**Напечатано в центре полиграфии НИЦ «МОРИНТЕХ»**

Дизайн: А.В. Антонов





# MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

Scientific journal № 3 (29) V.2 2015      www.morintex.ru      ISSN 2073-7173  
Subject: shipbuilding, computer science, computer engineering and management

## Chief Editor:

N. V. Nikitin, Doctor of Engineering, Professor

## Editorial Board

### Co-chairmen

I.G. Zakharov, Vice-CEO ZMKB "Almaz"

E.M. Appolonov, Rector, Saint-Petersburg State Marine Technical University

### Council Members

A.V. Arkhipov, Director, Research Institute of Shipbuilding and armaments of Russian Navy

A.I. Gajkovich, CEO, Research Centre "Marine Intelligent Technologies"

G.N. Muru, CEO, 51 CCIS

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

Pentti Kujala, Professor, Aalto University, Finland

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

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

V.N. Trjaskin, Vice-Rector for Education, Saint-Petersburg State Marine Technical University

A.K. Filimonov, Vice-Rector for Research, Saint-Petersburg State Marine Technical University

A.V. Shlyakhtenko, CEO and Chief Designer, ZMKB "Almaz"

## Editorial Staff

### Deputy Chief Editors

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

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

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

### Members of Editorial Staff

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

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

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

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

A. I. Golosov, Doctor of Engineering, Professor, Centre for Ship Building and Ship Repair Technology

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

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

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

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

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

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

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

Publication frequency — 4 issues per year

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

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", LLC

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

**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", LLC

Authors and advertisers are responsible for contents of information and advertisement materials as well as for use of information not liable to publication in open press. Reprinting is allowed only with permission of the editorial office.

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

## Editorial ethics of the scientific journal «MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES»

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

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

Design: A.V. Antonov

# 51

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
КОНСТРУКТОРСКО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
СУДОРЕМОНТА



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

51 ЦКТИС - ГОЛОВНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ВМФ РФ ПО РАЗРАБОТКЕ ТИПОВОЙ  
ОРГАНИЗАЦИОННОЙ РЕМОНТНО-  
ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ



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

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
О журнале .....	6
<b><i>Теория корабля и строительная механика</i></b>	
<b>Готман А.Ш., Титов М.А.</b> К расчету остаточного сопротивления судна.....	8
<b>Нечаев Ю.И., Петров О.Н.</b> Модифицированная система итерированных функций при контроле непотопляемости корабля.....	19
<b>Тарануха Н.А., Васильев А.С.</b> Численное исследование предельной несущей способности конструкций из композитных материалов.....	27
<b><i>Проектирование и конструкция судов</i></b>	
<b>Бережной К.Г., Вербицкий С.В.</b> Типы морских технологических платформ: их преимущества и недостатки.....	33
<b>Николаев А. А.</b> Разработка математического аппарата для организации оптимальной расстановки судов по районам промысла.....	47
<b>Нечаев Ю.И.</b> Теоретические аспекты исследовательского проектирования морских динамических объектов на базе современной теории катастроф .....	53
<b><i>Математическое моделирование</i></b>	
<b>Мазилевский И. И., Шаманова И. В.</b> Сравнительный анализ влияния геометрических параметров газо-газового бездиффузорного струйного аппарата на его рабочие характеристики .....	62
<b>Никущенко Д.В. , Зубова А.А.</b> Моделирование гидродинамического взаимодействия при проходе стоящего судна в условиях встречного течения и с учетом волнообразования .....	68

## CONTENTS

	page
About journal .....	6
<b><i>Theory of the ship and structural mechanics</i></b>	
<b>Gotman A. S., Titov M. A.</b> To the calculation of the residual ship resistance .....	8
<b>Nechaev Y.I., Petrov O.N.</b> The modified iterated functions system in unsinkability control of ships on waves .....	19
<b>Taranukha N. A., Vasilyev A. S.</b> Numerical investigation problems limit carrying capacity of composite structures .....	27
<b><i>Design and construction of vessels</i></b>	
<b>Berezhnoy K., Verbickij S.</b> Types of offshore floating technology platforms: advantages and disadvantages .....	33
<b>Nikolaev A. A.</b> Development of mathematical tool for optimum arrangement of vessels in fishing areas .....	47
<b>Nechaev Yu.</b> . Theoretical aspects of research engineering of marine dynamic objects on the basis of modern catastrophe theory .....	53
<b><i>Mathematical Modelling</i></b>	
<b>Mazilevsky I. I., Shamanova I. V.</b> . Comparative analysis of influence geometrical parameters of the gas-gas jet device without the diffuser its operating characteristics .....	62
<b>Nikushchenko D. V., Zubova A. A.</b> Ship to ship interaction numerical modeling for the passing ship and cross current conditions including waves .....	68





## О ЖУРНАЛЕ

### Главное

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.**

**Поданы заявки на включение журнала в международные реферативные базы данных SCOPUS и 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)

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

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

### Тематика

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

### Основные направления

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



## ABOUT JOURNAL

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

**The magazine is included into the List of Supreme Attestation Commission of leading reviewed scientific magazines and editions, in which basic scientific results of theses for application of science-degrees of Doctor and Candidate of Science shall be published.**

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.**

## Subject

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.
- Editorial Office Address.

## Теория корабля и строительная механика

УДК 629.12.011

### К РАСЧЁТУ ОСТАТОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СУДНА

**Готман Ада Шоломовна**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теории и устройства корабля

Сибирский государственный университет водного транспорта

630099, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33

тел. (383) 222-64-68; e-mail: [ada.gotman@yandex.ru](mailto:ada.gotman@yandex.ru)

**Титов Михаил Анатольевич**

Старший преподаватель кафедры теории и устройства корабля

Сибирский государственный университет водного транспорта

630099, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33

тел. (383) 221-47-51, e-mail: [ktuk@nsawt.ru](mailto:ktuk@nsawt.ru)

#### Аннотация

Работа выполнена для разработки методики расчёта остаточного сопротивления судна по заданному теоретическому чертежу. В отличие от волнового сопротивления остаточное сопротивление легче сравнивать с экспериментом, так как оно получается просто путём вычитания из полного сопротивления составляющей трения, которая с достаточной точностью получается по экстраполяторам. В данной работе остаточное сопротивление рассматривается как результат взаимодействия вихреобразования и корабельных волн.

Для получения остаточного сопротивления использованы гидродинамические особенности потока вокруг движущегося с постоянной скоростью водоизмещающего судна. Вязкий поток вокруг движущегося судна можно разделён на следующие зоны: 1) вихревая зона, создаваемая подпорными волнами, 2) пограничный слой, прилегающий к корпусу судна, 3) попутный поток за кормой, 4) турбулентный пограничный слой под волновой поверхностью, который образуется, благодаря градиенту скорости. В статье показано, что пограничный слой и попутный поток не оказывают никакого воздействия на корабельные волны. Только вихревая зона подпорных волн и подповерхностный турбулентный слой влияют на корабельные волны.

Расчёт остаточного сопротивления выполняется по интегралу Мичелла, в который вводятся две поправки. Одна поправка учитывает влияние турбулентного подповерхностного слоя и вводится только в интерференционную часть интеграла Мичелла. Вторая поправка учитывает, что вихревая зона подпорных волн сдвигает носовую систему корабельных волн в корму, что изменяет расчетный угол входа. В результате получено хорошее согласование расчётной кривой с экспериментальной кривой остаточного сопротивления в диапазоне чисел Фруда  $0,15 < Fr < 0,31$  для 17 моделей. Сравнение расчётов с экспериментом подтверждает правильность понимания влияния вязкости на корабельные волны движущегося судна и даёт верный путь для разработки практического метода расчёта остаточного сопротивления водоизмещающих судов.

**Ключевые слова** Остаточное сопротивление, водоизмещающие суда, сдвиг носовых волн, турбулентный подповерхностный слой.

### TO THE CALCULATION OF THE RESIDUAL SHIP RESISTANCE

**Gotman Ada Sholomovna**

Ada Sh. Gotman

the professor, Dr.Sci.Tech., Professor of Ship Theory Department,

SIBERIAN STATE UNIVERSITY OF WATER TRANSPORT

630099, Novosibirsk, Shchetinkina, 33

phone: (383) 217-11-68; e-mail: [ada.gotman@yandex.ru](mailto:ada.gotman@yandex.ru)

**Titov Michail Anatoliyevich**

Senior Lecturer of Ship Theory Department  
SIBERIAN STATE UNIVERSITY OF WATER TRANSPORT  
630099, Novosibirsk, Shchetinkina, 33  
phone: (383) 221-47-51, e-mail: [ktuk@nsawt.ru](mailto:ktuk@nsawt.ru)

### Abstract

This work has been done to receive a method of calculating residual ship resistance for a given theoretical drawing. In contrast to wave resistance, residual resistance is easier to compare with experiment, since it is obtained simply by subtracting frictional resistance from the total resistance, which with sufficient accuracy we obtain by extrapolators. In this work the residual resistance is considering as a result of the interaction of vortex formation and ship waves.

To receive the residual resistance we use hydrodynamic features of the flow around a moving displacement vessel at a constant speed. The viscosity flow around a moving vessel can be divided into the following zones: 1) vortex zone created by the retaining (shock) waves, 2) the boundary layer adjacent to the ship hull, 3) wake, 4) the subsurface turbulent layer, which is the result of the velocity gradient under a free wave surface. The article shows that the boundary layer and the wake do not affect the ship waves. Only vortex zone of the retaining (shock) waves, and subsurface turbulent layer affect the ship waves.

The calculation of the residual resistance is performed by Michell's integral, into which two corrections are introduced. One correction takes into account the effect of the turbulent subsurface and is introduced only in the interference part of Michell's integral. The second correction takes into account that the vortex zone in the nose shifts ship waves to the stern, what changes the calculated angle of entry. The result gives a good correlation between the calculated curve with the experimental curve of residual resistance in the range of Froude numbers  $0,15 < Fr < 0,31$  for 17 different models. Comparison of calculations with experimental data confirms the understanding of the effect of viscosity on the ship waves of a moving vessel and gives a sure way to develop a practical method for calculating the residual resistance of displacement ships.

**Key words:** the residual resistance, displacement vessels, shift bow waves, turbulent subsurface.

### Введение

Данная статья является продолжением статьи [8], в которой впервые было указано, что влияние вязкости на корабельные волны заключается в образовании пограничного подповерхностного слоя и сдвига подпорными волнами носовой системы волн. Взаимодействие вихрей и корабельных волн создаёт сопротивление, которое со времён Фруда называется остаточным (остаток от вычета из полного сопротивления составляющей трения). Юмор ситуации в том, что сопротивление трения, создаваемое невидимым пограничным слоем, достаточно точно определяется разными экстраполяторами, а вихри и волны вокруг движущегося судна хорошо видны, но доступной методики расчёта сопротив-

ления, вызванного этой великолепной картиной, до сих пор нет. Например, на рис. 1 хорошо видно, как носовые вихри отодвигают вершину кельвиновских волн в корму. Таким образом, связанный с вязкостью поток вокруг движущегося судна можно разделить на следующие зоны: 1) вихревая зона, создаваемая подпорными волнами, 2) пограничный слой, прилегающий к корпусу судна, 3) попутный поток за кормой, 4) пограничный слой под волновой поверхностью за счёт градиента скорости.

### 1. Особенности влияния вязкости на волновое сопротивление

Для расчёта остаточного сопротивления необходимо знать, как влияют на корабельные волны каждая из вязкостных зон. Покажем, что пограничный слой и попутный поток не влияют на корабельные волны на основании следующих экспериментов. Во-первых, используем эксперимент Г.Вейнблума, Дж.Кендрика и М.Тодда [5], в котором проверялось допущение Мичелла о малости относительного удлинения с моделью длиной 6м и отношением длины к ширине 36,7. В результате этого эксперимента получена кривая остаточного сопротивления (рис. 2), которая на малых числах Фруда от 0,12 до 0,36 полностью совпадает с кривой интеграла Мичелла со всеми её горбами и впадинами. Понятно, что у шестиметровой модели образуется пограничный слой большой ширины. Если бы пограничный слой влиял на корабельные волны, то это непременно сказалось бы на кривой остаточного сопротивления. Такой же эксперимент



Рис. 1. На фотографии видно, что начало носовой системы волн сдвинуто в корму

и с той же целью, но с моделью, у которой отношение длины к ширине равнялось 20, выполнил С.Шарма [6]. Результат получился таким же.

Следующий эксперимент для проверки влияния пограничного слоя на волновое сопротивление выполнил в том же году, что и С.Шарма, японский учёный Е.Баба [1]. Е.Баба для увеличения ширины пограничного слоя увеличивал шероховатость поверхности модели, и таким путём проверял, как увеличение ширины пограничного слоя влияет на волновое сопротивление. Е.Баба пишет: «В результате увеличения шероховатости полное сопротивление, измеренное динамометром, возросло на 50 процентов. Волновое сопротивление, полученное из волнового анализа, было слегка меньше, чем для гладкой модели. Разница, однако, была пренебрежимо малой по сравнению с разницей в полном сопротивлении. Это доказывает, что влияние вязкого потока на потенциальный поток до-

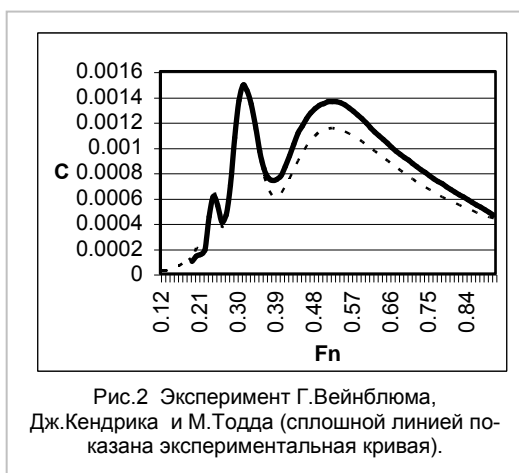


Рис.2 Эксперимент Г.Вейнблума, Дж.Кендрика и М.Тодда (сплошной линией показана экспериментальная кривая).

вольно мало».

В 1989 году был выполнен эксперимент с тандемом стоек [7], которые при равномерном движении создавали две кельвиновские системы волн. Несмотря на отсутствие корпуса судна, кривая сопротивления тандема стоек имела такой же характер, какой обычно имеют кривые остаточного сопротивления моделей водоизмещающих судов. Следовательно, влияние вязкости связано с тем, что происходит на форштевне.

Итак, на корабельные волны не влияют ни пограничный слой, ни попутный поток, а только вихревая зона, которая, как показали Х.Мията и Т.Инуи [2,3], образуется за ударными волнами. Эта вихревая зона отодвигает носовую систему волн, потому что волновое движение потенциально, а вихревое и потенциальное движения не могут существовать в одном пространстве. Таким образом, взаимное влияние вихревого и волнового сопротивления заключается в том, что из-за наличия вихревой зоны вершина носовой волновой системы находится не на форштевне, а в точке, находящейся дальше в корму. Отсюда можно объяснить причину расхождения кривой Мичелла с кривой остаточного сопротивления: в интеграле Мичелла в расчёт входит угол

входа ватерлиний на форштевне, а не там, где действительно находится вершина волновой системы. Кроме сдвига волнообразующей точки носовой волновой системы, влияние вязкости жидкости проявляется в образовании под волновой поверхностью пограничного турбулентного слоя.

## 2. Расчёт остаточного сопротивления

Расчёт остаточного сопротивления основан на описанном выше понимании влияния вязкости на волнообразование. Для того чтобы расчётная кривая остаточного сопротивления совпала с экспериментальной кривой, вводятся две поправки: одна, учитывающая наличие под волновой поверхностью турбулентного пограничного слоя, а вторая, учитывающая изменение угла наклона касательной к поверхности корпуса судна в том месте, куда сдвинулась волнообразующая точка носовой системы волн. Первая поправка вводится по формуле

$$k_{\text{exp}} = \exp(v_{\text{turb}} / (\sqrt{g} \cdot L^{1,5} \cdot Fr^5)) \quad (1)$$

Эта поправка входит только в интерференционную часть интеграла Мичелла. Объясняется это тем, что сначала возникают волны, т.е. действует та сила, которая описывается фундаментальной (главной) частью интеграла Мичелла, а только потом после деформации свободной поверхности развивается подповерхностный пограничный слой и подавляет высоты волн носовой системы, которые интерферируют с кормовой волновой системой. Расчёты для разных моделей показали, что экспоненциальная поправка (1), за редким исключением, меняется в пределах  $0,04 \leq k_{\text{exp}} \leq 0 < 0,1$ , но для большинства вязких для анализа моделей Г.Вейнблума и В.Виглея она равна 0,08. К сожалению, в формуле (1) коэффициент  $k_{\text{exp}}$  является размерной величиной, что важно учитывать при выборе величины турбулентной вязкости  $v_{\text{turb}}$ . Для того, чтобы использовать формулу (1) нужно просто сделать аффинное преобразование и привести все размеры расчётной модели к длине примерно 4,5-5,0 м. В этом случае можно принять  $v_{\text{turb}} \approx 0,08$ .

Для учёта сдвига использована новая форма интеграла Мичелла в виде [6]:

$$R_w = \frac{4\rho g^2}{\pi c^2} \left( \frac{B}{2} \right) (I_1 + I_2) \quad (2)$$



$$I_1 = \int_0^{\pi/2} J_4^2(p) \cdot F_1(k) \frac{d\theta}{\cos^3 \theta},$$

$$I_2 = 2 \int_0^{\pi/2} J_4^2(p) \cdot (F_2(k) \cos 2k + F_3(k) \sin 2k) \frac{d\theta}{\cos^3 \theta},$$

(3)

$$\begin{aligned} F_1(k) &= k^{-2} [G_{bo}^2 + k^{-2} G_{b1}^2 + G_{so}^2 + k^{-2} G_{s1}^2], \\ F_2(k) &= k^{-2} [G_{bo} G_{so} + k^{-2} G_{b1} G_{s1}], \\ F_3(k) &= k^{-3} [G_{bo} G_{s1} - G_{b1} G_{so}]. \end{aligned}$$

(4)

Здесь индексы *bo* и *b1* относятся к носовой части корпуса, а индексы *so* и *s1* относятся - к кормовой. Функции  $G_{bo}, G_{b1}, G_{so}, G_{s1}$  зависят от производных уравнения поверхности корпуса  $y = b \cdot f(x, z)$ , взятых в оконечностях на форштевне и ахтерштевне. Функции  $G_{bo}, G_{b1}, G_{so}, G_{s1}$  записываются в виде

$$\begin{aligned} G_{b1} &= g'(1) - g'''(1)k^{-2} + g^V(1)k^{-4} - \dots (-1)^{r+1} g^{(2r-1)}(1)k^{-(2r-2)}, \\ G_{bo} &= g(1) - g''(1)k^{-2} + g^{IV}(1)k^{-4} \dots \\ &\begin{cases} (-1)^r g^{(2r-2)}(1)k^{-2r}, & \text{аÑÑÑ } m = 2r + 1, \\ (-1)^{r-1} g^{(2r)}(1)k^{-(2r-2)}, & \text{аÑÑÑ } m = 2r, \end{cases} \\ G_{s1} &= g'(-1) - g'''(-1)k^{-2} + g^V(-1)k^{-4} - \dots \\ &(-1)^{r+1} g^{(2r-1)}(-1)k^{-(2r-2)}, \\ G_{so} &= g(-1) - g''(-1)k^{-2} + g^{IV}(-1)k^{-4} \dots \end{aligned}$$

(5)

$$\begin{cases} (-1)^r g^{(2r-2)}(-1)k^{-2r}, & \text{аÑÑÑ } m = 2r + 1, \\ (-1)^{r-1} g^{(2r)}(-1)k^{-(2r-2)}, & \text{аÑÑÑ } m = 2r, \end{cases}$$

Угол входа отражает первая производная на форштевне  $g(1) = f_x(1, z)$ . Именно эта величина больше других изменяется от сдвига волн, поэтому для того, чтобы ввести поправку на сдвиг, необходимо знать производную в той точке главной действующей ватерлинии, где находится точка отхода первой носовой волны от поверхности корпуса. В анализе, описанном в предыдущей статье, подбирался множитель к  $g(1)$ , т.е. в формуле (5) вместо

$$G_{bo} = g(1) - g''(1)k^{-2} + g^{IV}(1)k^{-4} \dots$$

берётся

$$G_{bo} = g(1) * \delta\alpha - g''(1)k^{-2} + g^{IV}(1)k^{-4} \dots,$$

где

$$\delta\alpha = a + b \cdot (Fr - Fr_o). \tag{3}$$

Для проверки такого подхода, выполнены расчёты остаточного сопротивления для 17 разных моделей В.Виглея и Г.Вейнблума. Изменение угла входа  $\delta\alpha$  пришлось подбирать для каждой модели отдельно. Величины *a* и *b* имеют разный смысл и поэтому ведут себя по-разному. Величина *a* учитывает величину сдвига носовой системы волн в корму и соответствующее этому сдвигу изменение угла наклона касательной к поверхности корпуса судна. Коэффициент *b* определяет изменение сдвига по мере увеличения скорости движения судна. Поведение коэффициентов *a* и *b* показано на рис. 3 и 4. Графики построены по тем моделям, по которым выполнялось исследование. Коэффициент *a* с увеличением угла входа ватерлиний уменьшается, а коэффициент *b* наоборот. Но принять эти коэффициенты по линейному тренду (штриховая линия на рис.3 и 4) невозможно. При выборе этих коэффициентов выяснилось, что они изменяются в очень узких пределах. Малейшее изменение любого из этих коэффициентов может привести к значительному ухудшению результата расчёта

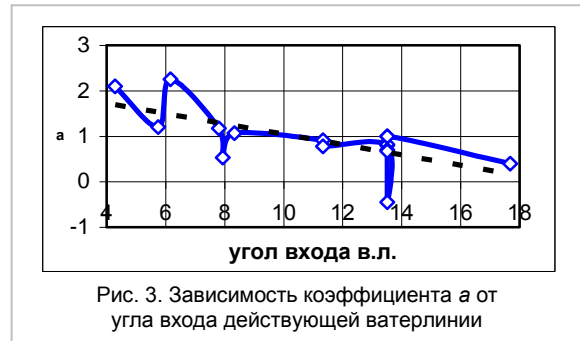


Рис. 3. Зависимость коэффициента *a* от угла входа действующей ватерлинии

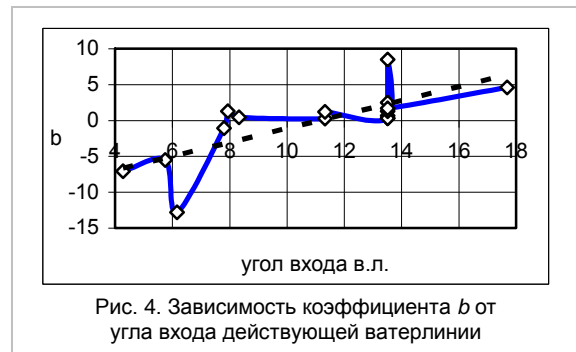


Рис. 4. Зависимость коэффициента *b* от угла входа действующей ватерлинии

В ПРИЛОЖЕНИИ 1 приведены примеры расчётов для 17 моделей с разными углами входа  $\alpha$  и разными значениями призматического коэффициента  $\phi$ . Как видно из примеров, в большинстве случаев за редким исключением получено хорошее согласование расчётной кривой с экспериментальной

кривой остаточного сопротивления. Это подтверждает правильность понимания влияния вязкости на волнообразование судна. Следует заметить, что никакие другие поправки, а их в процессе поисков решения данной задачи было перепробовано немало, не давали такого результата. Кроме того, взятая за основу физическая картина достаточно убедительна.

Для разработки практического метода расчёта остаточного сопротивления реальных судов необходимы систематические эксперименты для получения кривой зависимости длины сдвига волнообразующей точки носовой волновой системы, главных размерений, коэффициента продольной полноты и др. в зависимости от угла входа ватерлиний в носу. В первую очередь в СГУВТ запланирован эксперимент для определения зависимости длины сдвига волнообразующей точки от угла входа носовых ватерлиний. Для этого проектируется серия моделей с одинаковыми главными размерениями, но с углами входа действующей ватерлинии, меняющимися от  $8^\circ$  до  $18^\circ$ .

### Заключение

В статье рассмотрен способ расчёта остаточного сопротивления как результата взаимодействия вихревого и волнового сопротивления. Приведены доказательства того, что пограничный слой и попутный поток не влияют на волновое сопротивление. Вязкость влияет на корабельные волны, в первую очередь турбулизированный пограничный слой под волновой поверхностью, во-вторых, сдвигая носовую систему кельвиновских волн в корму.

Именно учёт этих воздействий позволяет рассчитать остаточное сопротивление.

Для расчёта остаточного сопротивления использован интеграл Мичелла, в который вводятся две поправки, учитывающие действие вязкости. Первая поправка вводится в виде экспоненциального множителя, а вторая - входит в виде множителя к углу входа ватерлиний.

Расчёт выполнен для 17 аналитических моделей В.Виглея и Г.Вейнблума, данные по которым приведены в предыдущей статье. В ПРИЛОЖЕНИИ 1 приводятся сравнения расчётных кривых с экспериментальными кривыми остаточного сопротивления. Показаны результаты введения экспоненциальной поправки, учитывающей подповерхностный пограничный слой, что уменьшает высоту носовой системы волн и таким образом сглаживает горбы и впадины на расчётной кривой Мичелла. Кроме того, приведены расчётные кривые, полученные с обеими поправками, для всех 17 моделей, для которых выполнялись расчёты. Получено хорошее согласование расчетов с экспериментальными данными. Сравнительные расчёты подтвердили правильность данного подхода к определению остаточного сопротивления, показав хорошее совпадение расчётных и экспериментальных кривых остаточного сопротивления.

В ПРИЛОЖЕНИИ 2 приведены характеристики моделей – угол входа ватерлиний и призматический коэффициент, а также значения поправок, при которых получены результаты, приведенные в приложении 1

### Литература

1. Baba, E. Study on separation of ship resistance components. *Journal of Society Nav. Arch. Japan*, 1969, 125, 9 – 22.
2. Inui, T. From Bulbous Bow to Free-Surface Shock Wave – Trends of 20 Years' Research on Ship Waves at the Tokyo University Tank. *Journal of Ship Research*, 1981, 5, 3, 147-180.
3. Miyata, H. & Inui, T. Nonlinear ship waves. *Advances in Applied Mechanics*, 1984, 24, 215-288.
4. Sharma, S.D. Some results concerning the wavemaking of a thin ship. *Journal of Ship Research*, 1969, 13, 1, 72-81.
5. Weinblum, G.P., Kendrick J.J. & Todd M.A. Investigation of wave effects produced by a thin body – TMB Model 4125. *Navy Department, the David W. Taylor Model Basin*, 1952, Washington 7.DC, Report 840.
6. Gotman, A.Sh. Study of Michell's Integral and influence of viscosity and ship hull form on wave resistance. *Oceanic Engineering International*, 2002, 8, 2, 74 – 115.
7. Готман А.Ш. К вопросу интерференции носовой и кормовой систем корабельных волн // Материалы по обмену опытом. ВНТО им. ак. А.Н.Крылова, Судостроение, 1989, 469, 36 – 49.
8. Готман А.Ш. Изучение вихревого сопротивления водоизмещающих судов // МИТ 4(22), 2013, 11-19, Санкт-Петербург, Россия.

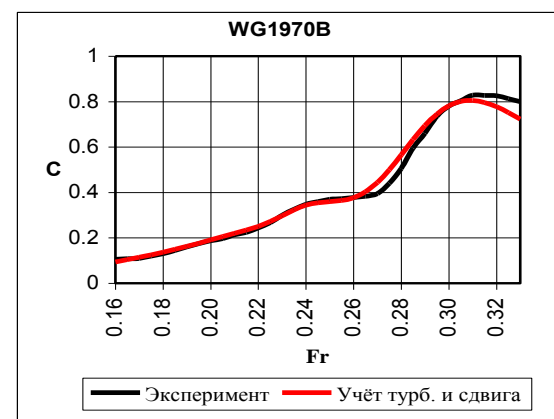
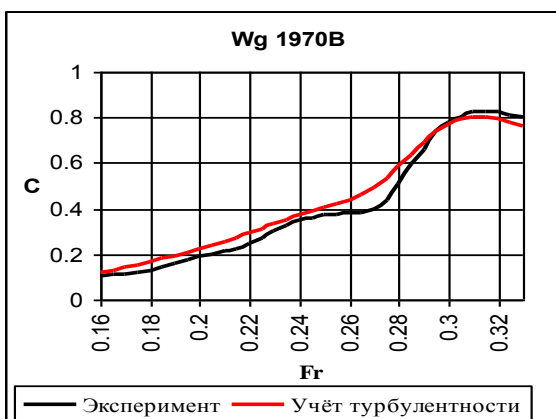
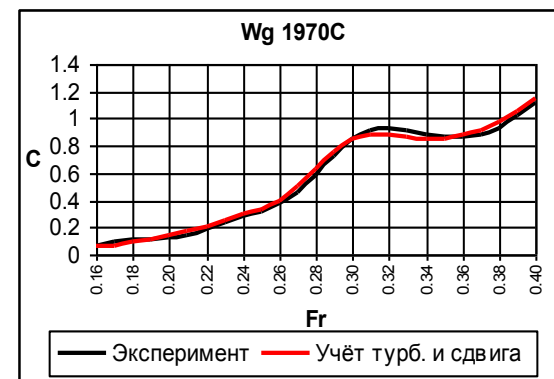
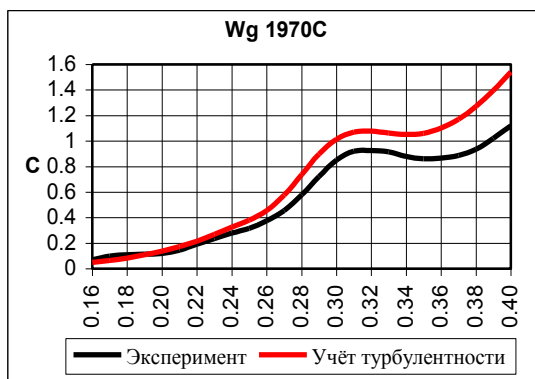
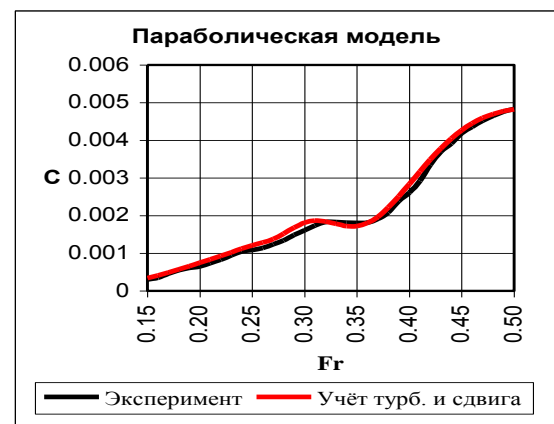
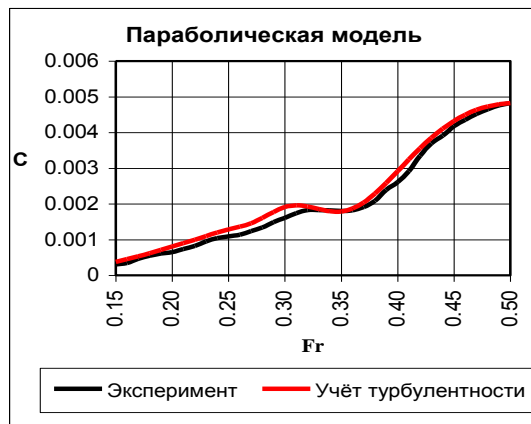
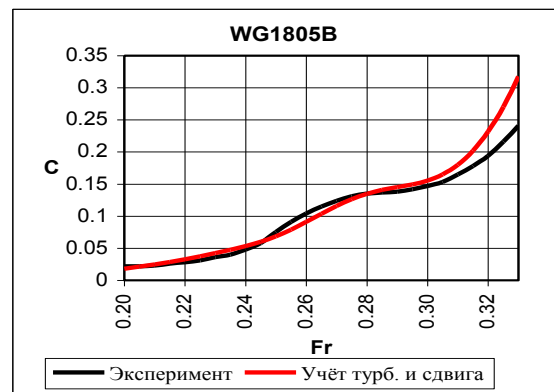
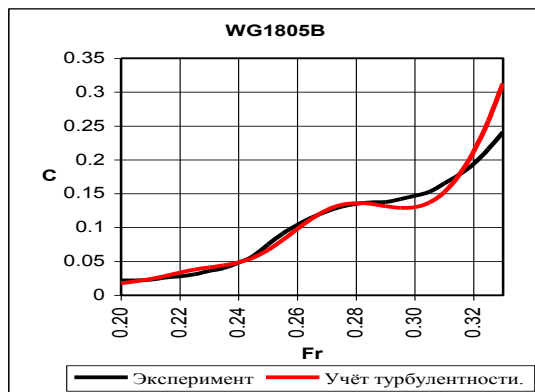
### References

1. Baba, E. Study on separation of ship resistance components. *Journal of Society Nav. Arch. Japan*, 1969, 125, 9 – 22.
2. Inui, T. From Bulbous Bow to Free-Surface Shock Wave – Trends of 20 Years' Research on Ship Waves at the Tokyo University Tank. *Journal of Ship Research*, 1981, 5, 3, 147-180.
3. Miyata, H. & Inui, T. Nonlinear ship waves. *Advances in Applied Mechanics*, 1984, 24, 215-288.
4. Sharma, S.D. Some results concerning the wavemaking of a thin ship. *Journal of Ship Research*, 1969, 13, 1, 72-81.

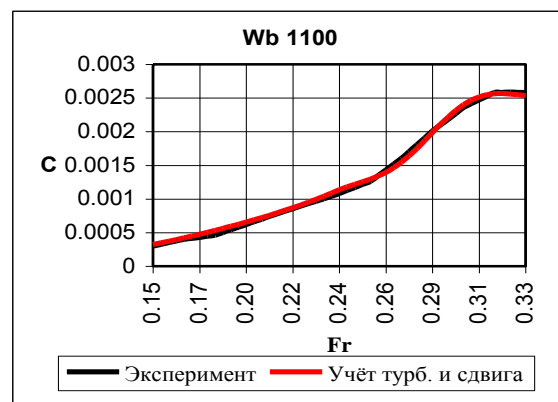
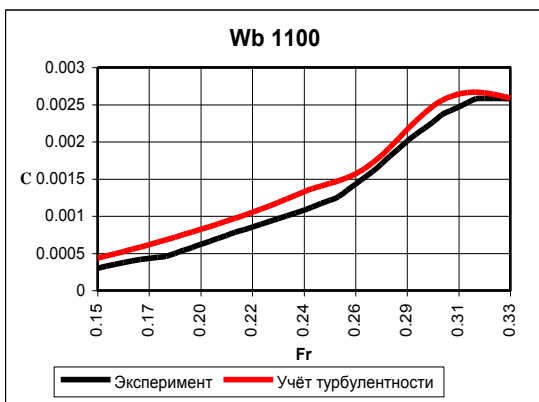
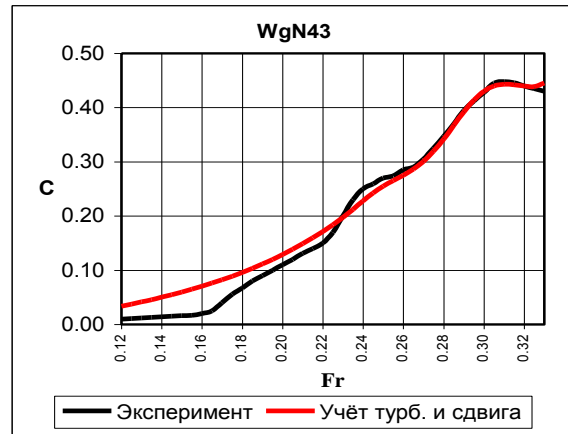
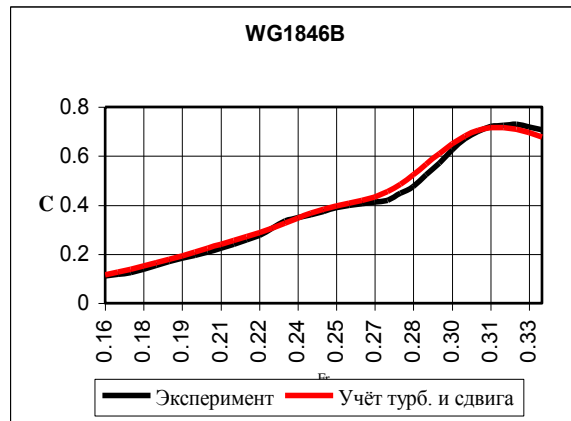
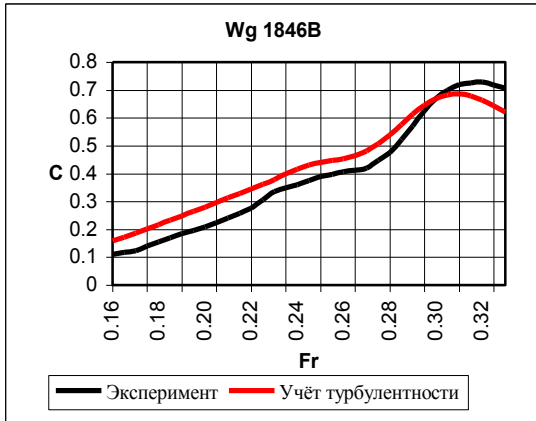
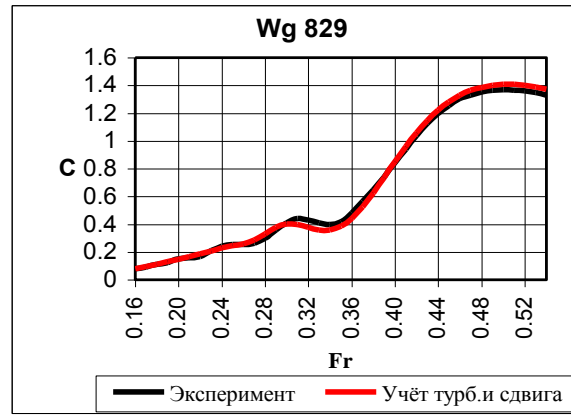
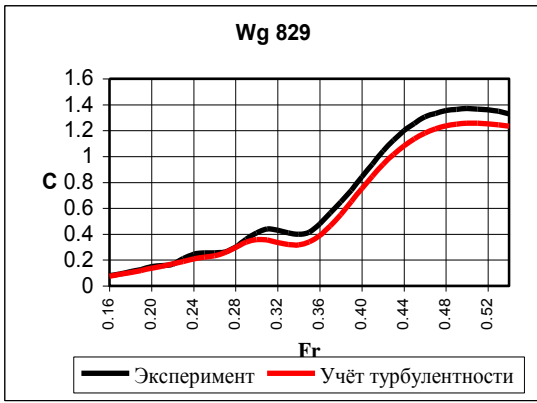
- 
- 5 Weinblum, G.P., Kendrick J.J. & Todd M.A. Investigation of wave effects produced by a thin body – TMB Model 4125 . *Navy Department, the David W. Taylor Model Basin*, 1952, Washington 7.DC, Report 840.
  6. Gotman, A.Sh. Study of Michell's Integral and influence of viscosity and ship hull form on wave resistance. *Oceanic Engineering International*, 2002, **8**, 2, 74 – 115.
  7. Gotman A.Sh. K voprosu irterferenciji nosovojj I kormovoji system korabelnikh voln .*Materiali po obmenu opitom.* VNTO im. ak. A.N.Krilova. Sudostroenie 1989, 469, 36-48
  8. Gotman A.Sh. Isuchenie vikhrevogo soprotivlenija vodoizmeshchajushchikh sudov. MIT 4(22), 2013, 11-19, St.Petersburg, Russia.

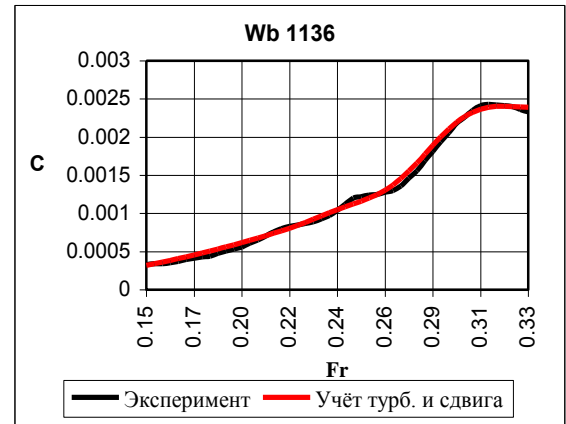
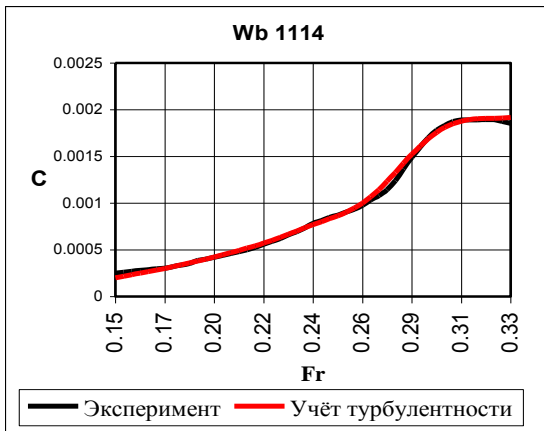
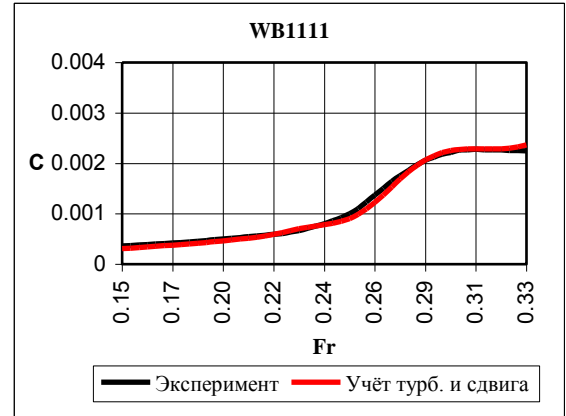
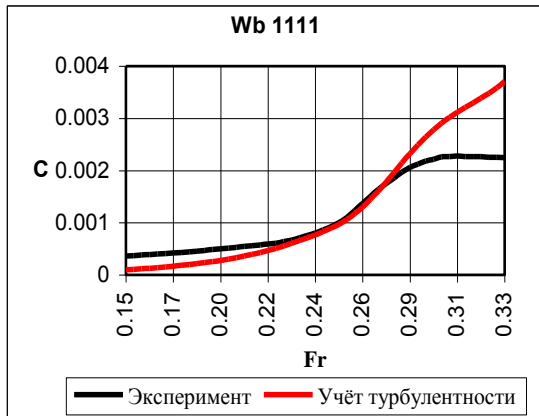
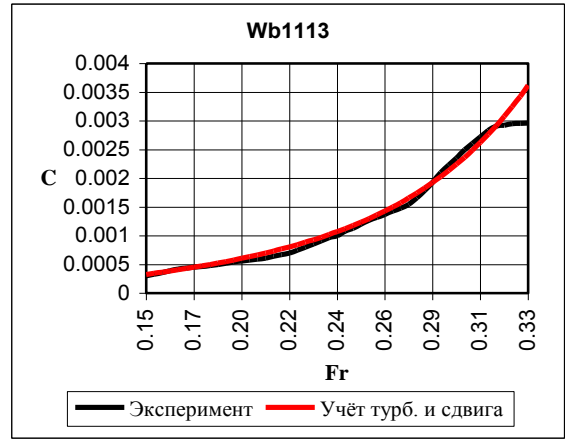
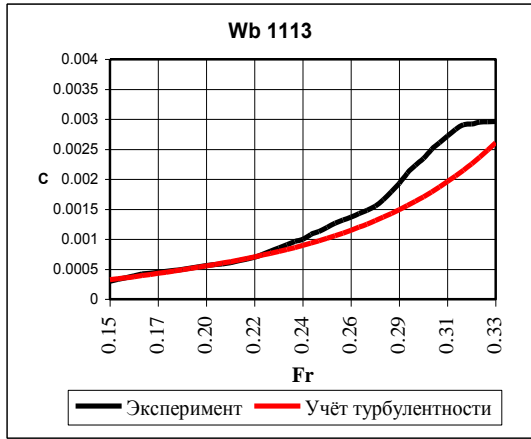
## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

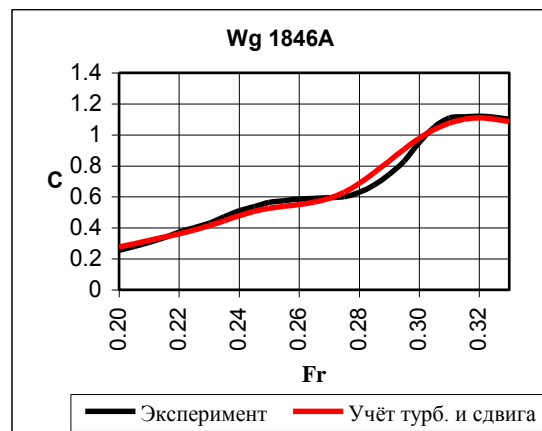
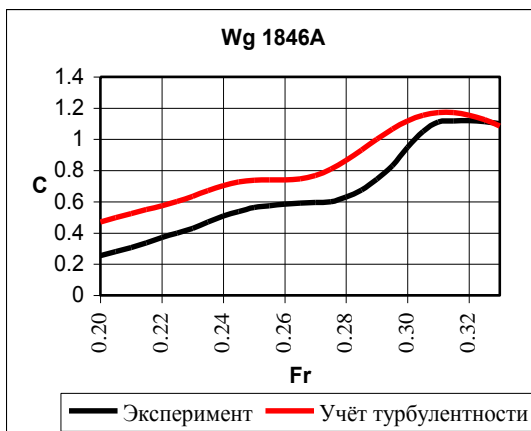
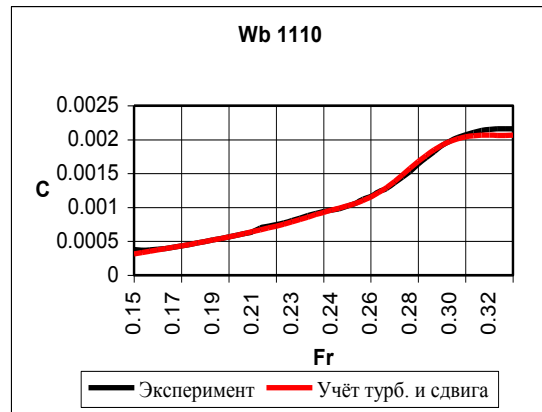
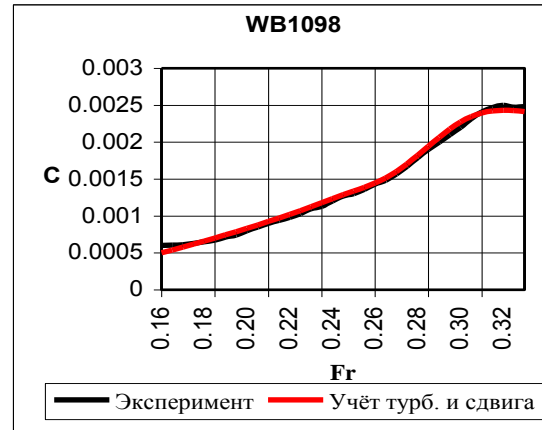
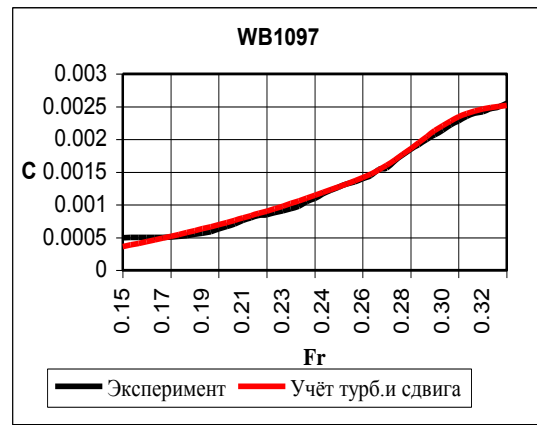
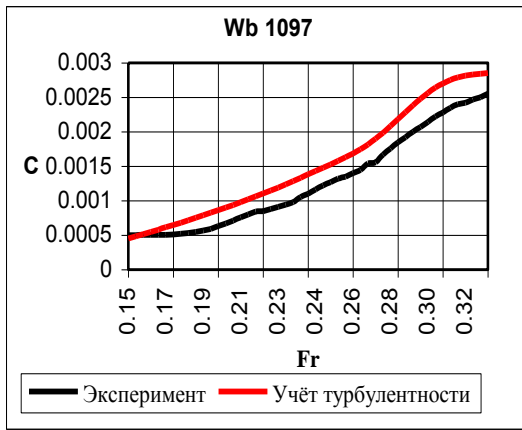
В приложении даётся сравнение кривых сопротивления, полученных расчётным путём: в интеграл Мицелла вводятся две описанные в тексте поправки.

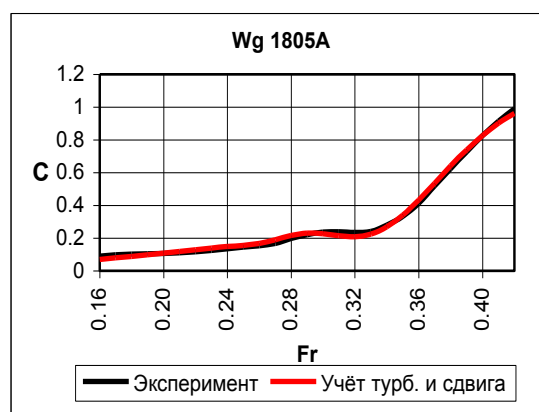
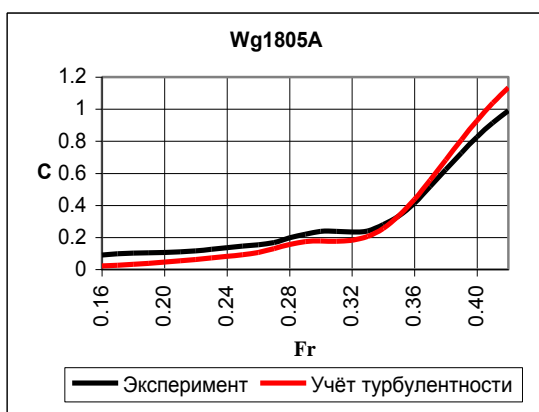












## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Приводятся значения первой и второй поправок для расчётов остаточного сопротивления с помощью интеграла Мичелла

Основные параметры формы обводов и значения поправок, учитывающие взаимодействие вихревого и волнового сопротивления						
№п/п	Модель	Угол входа $\alpha$ и призматический коэффициент $\varphi$	$\delta\alpha = a + b(Fr - Fr_0)$		$V_{\text{turb}}$	
			$a$	$b$		
1	Wg_1805B	$\alpha = 0^{\circ}00'$ , $\varphi = 0,533$	-0,03	-0,01	0,08	
2	Wg_1805A	$\alpha = 4^{\circ}17'$ , $\varphi = 0,533$	2,30	-6,70	0,08	
3	Wg_1970C	$\alpha = 5^{\circ}45'$ , $\varphi = 0,700$	1,2	-5,5	0,08	
4	Wb_1111	$\alpha = 6^{\circ}10'$ , $\varphi = 0,647$	2,32	-12,9	0,08	
5	Wb_1114	$\alpha = 7^{\circ}48'$ , $\varphi = 0,657$	1,00	-0,001	0,08	
6	Wb_1098	$\alpha = 7^{\circ}56'$ , $\varphi = 0,693$	0,53	1,3	0,08	
7	Wg_829	$\alpha = 8^{\circ}20'$ , $\varphi = 0,640$	1,07	0,45	0,08	
8	Parabolic	$\alpha = 11^{\circ}20'$ , $\varphi = 0,667$	0,91	0,25	0,08	
9	Wg_1970B	$\alpha = 11^{\circ}20'$ , $\varphi = 0,700$	0,78	1,20	0,05	
10	Wb_1097	$\alpha = 13^{\circ}31'$ , $\varphi = 0,693$	0,80	0,30	0,08	
11	Wg_N43	$\alpha = 13^{\circ}31'$ , $\varphi = 0,879$	-0,45	8,5	0,08	
12	Wb_1136	$\alpha = 13^{\circ}31'$ , $\varphi = 0,690$	0,82	0,65	0,08	
13	Wb_1110	$\alpha = 13^{\circ}31'$ , $\varphi = 0,656$	1,00	0,3	0,08	
14	Wb_1100	$\alpha = 13^{\circ}31'$ , $\varphi = 0,690$	0,7	1,3	0,08	
15	Wg_1846B	$\alpha = 13^{\circ}31'$ , $\varphi = 0,693$	0,67	2,5	0,08	
16	Wb_1113	$\alpha = 13^{\circ}31'$ , $\varphi = 0,666$	1,00	1,7	0,08	
17	Wg_1846A	$\alpha = 17^{\circ}41'$ , $\varphi = 0,587$	0,4	4,6	0,008	



УДК 004.942:004.031.043

## МОДИФИЦИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИТЕРИРОВАННЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ МОРСКИХ СУДОВ НА ВОЛНЕНИИ

**Нечаев Юрий Иванович**

доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники и информационных технологий Санкт-Петербургского государственного морского технического университета  
190008, Санкт-Петербург, Лоцманская, 3.

**Петров Олег Николаевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и информационных технологий Санкт-Петербургского государственного морского технического университета  
190008, Санкт-Петербург, Лоцманская, 3.  
тел. (812) 430-79-88; e-mail: petr\_oleg@mail.ru

### Аннотация

Обсуждаются вопросы использования модифицированной системы итерированных функций в задаче контроля динамики аварийного судна на волнении. Основное внимание уделяется интерпретации экстремальной ситуации в условиях непрерывного изменения динамики судна и внешней среды в условиях неопределенности и неполноты исходной информации на основе нейросетевых технологий.

Принципиальной особенностью, определяющей динамику аварийного судна на волнении, является возможность интерпретации текущей ситуации на основе концепции минимальной длины описания и принципа сложности, а также выработки управляющего воздействия в зависимости от состояния аварийного судна на каждом шаге эволюции как нелинейной динамической системы, функционирующей в нестационарной среде, с использованием фрактального анализа и теории энтропийных потенциалов.

Концептуальная модель вычислительного комплекса определяет решение задач анализа и прогноза развития аварийных ситуаций с помощью топологии GN-системы, интегрирующей графоаналитическую и нейродинамическую системы. На основе концепции GN-систем разработан математический аппарат геометрической и аналитической интерпретации текущих ситуаций при комплексном использовании достижений современной компьютерной математики и средств высокопроизводительных вычислений.

**Ключевые слова:** теория катастроф, непотопляемость судна, динамическая система, аварийная ситуация, система итерированных функций, нейроанализ, нейропрогноз.

## THE MODIFIED ITERATED FUNCTION SYSTEM IN UNSINKABILITY CONTROL OF SHIPS ON WAVES

**Nechaev Yuri Ivanovich**

the professor, Dr.Sci.Tech, the professor of DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE, STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG  
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation.

**Petrov Oleg Nikolaevich**

the associate professor, Ph.D., the associate professor of DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE, STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG  
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation  
tel: +7 (812) 430-79-88; e-mail: petr\_oleg@mail.ru

### Abstract

The paper discusses using the modified iterated function systems in the problems of damaged ship dynamic control on waves. The primary attention is given to interpretation of extreme situation at a continuous change of ship – environment dynamics in uncertainty and incompleteness of initial information using neural technologies.

A principal characteristic that determines the damaged ship dynamics on waves is a possibility of interpretation of current situation on the basis on minimal description length concept and complexity principle. It is also possible to generate controlling action depending on damaged ship state on each step of situation evolution using fractal analysis and theory of entropic potentials.

Conceptual model of computing complex defines the interpretation of analysis and forecast of extreme situations using the topology of GN-system that integrates graph-analytical and neuro-dynamical systems. The mathematical tool is developed on the basis of GN-system concept that allows geometrical and analytical interpretation of current situations using the modern computer mathematics and high-performance computing.

**Key words:** catastrophe theory, ship unsinkability, dynamic system, extreme situation, iterated function system, neural analysis, neural forecast.

### Введение

В процессе проектирования морских судов важнейшей процедурой является оценка динамической непотопляемости методами современной теории катастроф в условиях интенсивных внешних возмущений [1]-[5]. Ниже рассмотрена задача контроля динамической непотопляемости на основе модифицированной системы итерированных функций (СИФ) [3],[6] в задачах идентификации, аппроксимации и прогноза динамики аварийного судна как нелинейной нестационарной системы.

Теоретический анализ особенностей функционирования модифицированной СИФ проведен с использованием интерпретации множества достижимости [7] на основе обобщенного принципа диссипации [8] и конкурирующих вычислительных технологий в условиях неопределенности и неполноты исходной информации [1]-[3]. Принципиальной особенностью, определяющей динамику аварийного судна на волнении, является возможность интерпретации текущей ситуации на основе концепции минимальной длины описания [9] и принципа сложности [10], а также выработки управляющего воздействия в зависимости от состояния аварийного судна на каждом шаге эволюции как нелинейной динамической системы, функционирующей в нестационарной среде, с использованием фрактального анализа [11] и теории энтропийных потенциалов [12].

Рассматриваемый вычислительный комплекс контроля динамической непотопляемости [2] реализует сложное преобразование информации с использованием формализованной модели знаний на основе теории экстренных вычислений [3]. Теоретический базис преобразования информации в сложных динамических средах реализован в рамках современной теории катастроф, построенной на основе принципа диссипации Н. Н. Моисеева [8] и исследований [1]-[5].

### 1. Постановка задачи контроля динамики аварийного судна

Концептуальная модель вычислительного комплекса определяет решение следующих задач анализа и прогноза развития аварийных ситуаций с помощью топологии GN-системы, интегрирующей графоаналитическую и нейродинамическую системы:

$$GN = \langle G(Idea), G(Appr), G(For) \rangle; \quad (1)$$

$$G(Idea) = \langle G(Env), G(DO) \rangle, \quad (2)$$

$$G(For) = \langle G(Beh), \{G(Env), G(DO)\} \rangle, \quad (3)$$

где кортеж  $\langle \bullet \rangle$  характеризует граф-структуры задач контроля динамики аварийного судна: идентификация  $G(Idea)$ , аппроксимация  $G(Appr)$ , прогноз  $G(For)$  текущей ситуации –  $G(Beh)$ ,  $G(Env)$ ,  $G(DO)$  – структуры, определяющие эволюцию аварийного судна, параметры внешней среды и объект моделирования.

В соответствии с концепцией динамической модели катастроф [1] граф-структура  $G(Beh)$  реализует принцип интерпретации динамической непотопляемости на основе фрактальных структур [10] в виде эллиптических отображений [1]-[3] (рис.1). Формальная модель аттракторных и фрактальных множеств GN-системы определяется кортежем:

$$G(Beh) = \langle G(Attr) \rangle, \quad (4)$$

$$G(Attr) = \langle G(Stab), G(Cat) \rangle, \quad (5)$$

где  $G(Attr)$  – аттракторные множества;  $G(Stab) \in Fr(\Omega)$  – фрактальное множество, формирующее движение аварийного судна к целевому аттрактору;  $G(Cat) \in Fr(\Omega)$  – фрактальное множество при потере плавучести и устойчивости (возникновение катастрофы).

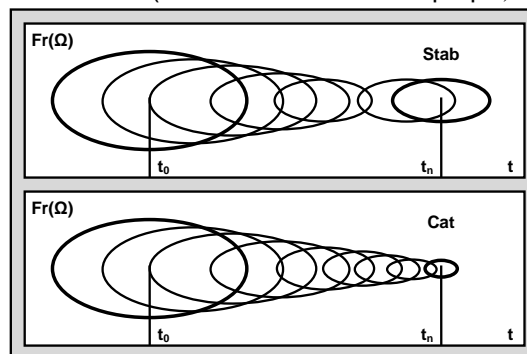


Рис. 1. Фрактальные множества  $Fr(\Omega)$ , определяющие динамику аварийного судна при движении к целевому аттрактору и при потере устойчивости -  $Stab$  (возникновение катастрофы) -  $Cat$

Разработке универсальной модели, представленной в рамках концепции минимальной длины описания А.Н.Колмогорова [9] и теории сложности [10].

### 2. Модифицированная модель СИФ

Алгоритмы, основанные на теории СИФ [6], отличаются независимостью полученного результата (сформированного аттрактора) от выбора

начального множества  $E_0$ . Для построения СИФ вводится совокупность сжимающих отображений

$$T_1(S_1 < 1), T_2(S_2 < 1), \dots, T_m(S_m < 1), \quad (6)$$

действующих в пространстве  $R^n$ . Эти многообразия используются для построения сжимающего отображения  $T$  в пространстве компактов из  $R^n$  с использованием преобразования Хатчинсона [6]:

$$T(E) = T_1(E) \cup T_2(E) \cup \dots \cup T_m(E). \quad (7)$$

Модель СИФ определяется совокупностью отображений (8) в соответствии с итерационной схемой:

$$E_0, E_1 = T(E_0), E_2 = T(E_1), \dots, E_n = T(E_{n-1}). \quad (8)$$

Основная задача теории СИФ состоит в выяснении условия порождения предельного множества  $E$ :

$$E = \lim_{n \rightarrow \infty} E_n, \quad (9)$$

при выполнении которого формируется аттрактор СИФ (аттракторное множество GN-системы).

Связь хаоса с фракталом устанавливается путем интерпретации СИФ как структуры, состоящей из пространства  $X$  и сжимающих отображений  $T_1, \dots, T_N$ , действующих в  $X$ . Если коэффициенты сжатия представить как

$$S_1, \dots, S_N \text{ и } S = \max \{S_1, \dots, S_N\}, \quad (10)$$

то по теореме Хатчинсона СИФ в виде

$$E_0 = T_1(E_{k-1}) \cup T_2(E_{k-1}) \cup \dots \cup T_m(E_{k-1}), k = 1, 2, \dots \quad (11)$$

сходится к единственному аттрактору  $E$ .

Проблема использования СИФ при интерпретации динамической непотопляемости на основе GN-систем состоит в проверке возникновения экстремального значения функции интерпретации в процессе эволюции аварийного судна как нелинейной нестационарной системы (NN-системы). Для этого процедуры построения сжимающего многообразия СИФ (8), определяющие функцию управления, дополняются интерпретирующей функцией (рис.2):

$$F(Int) = \langle F(Fib), F(ND) \rangle, \quad (12)$$

где  $F(Fib)$  – алгоритм Фибоначчи [3],[13], с помощью которого реализуется контроль появления экстремума на очередной итерации;  $F(ND)$  – функция интерпретации ND-системы, обеспечивающая адаптацию фрактальной эллиптической структуры в заданной точке итерации на основе нейронечеткого (NF-система) и нейроэволюционного (NE-система) моделирования.

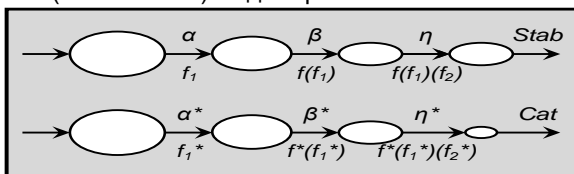


Рис. 2. Модель модифицированной СИФ, отображающая эволюцию NN-системы

На рисунке использованы следующие обозначения:  $(\alpha, \beta, \eta)$  и  $(\alpha^*, \beta^*, \eta^*)$  – ограниченные операторы, реализующие функцию интерпретации

на итерациях СИФ в процессе движения к целевому аттрактору (Stab) и при потере устойчивости (Cat);  $f_1, f(f_1), f(f_1)(f_2)$  и  $f_1^*, f^*(f_1^*), f^*(f_1^*)(f_2^*)$  – функции управления в модифицированной модели СИФ.

Реализация концептуальных решений при функционировании модифицированной модели СИФ представлена на рис.3.

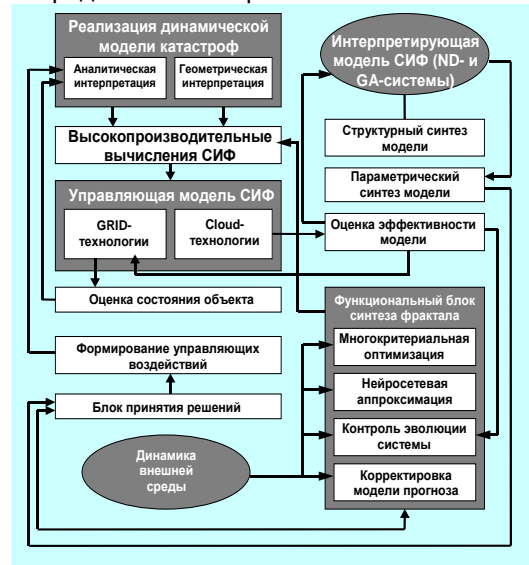


Рис. 3. Концепция высокопроизводительных вычислений интеллектуального комплекса ND-моделирования СИФ на основе динамической модели катастроф

Здесь дается содержательная интерпретация функциональной и интерпретирующей компонент модели СИФ при реализации потока информации динамической модели катастроф в мультипроцессорной вычислительной среде. Управляющая модель построена на основе технологий СИФ, а интерпретирующая модель – с использованием ND-системы.

### 3. Построение множества достижимости на основе СИФ

Функциональный анализ модифицированной СИФ проведен с использованием эллиптической интерпретации множества достижимости [7]. Принципиальным аспектом, определяющим динамику взаимодействия в рамках такой интерпретации, является возможность выработки управляющего воздействия в зависимости от достоверности оценки состояния NN-системы на каждом шаге эволюции. Такая оценка выполняется с помощью эллиптического отображения на основе конечно-разностного дифференциального уравнения:

$$X(t_{i+1}) = F(x(t_i), u(t_i), t_i), \quad t_0 < t_1 < \dots, \quad t = 0, 1, \dots \quad (13)$$

Здесь  $x \in R^n$  – вектор фазовых координат;  $F(\cdot)$  – функция своих аргументов;  $U(t_i)$  – замкнутое множество  $R^m$ . Множество  $U(x, t_i)$  для каждого  $i = 0, 1, \dots$  определено при  $x \in Z_i$ , где  $Z_i$  – множество в  $R^n$ , в

котором лежат все реализуемые значения вектора  $x(t_i)$ . Функция  $F(x, u, t)$  для каждого  $i$  определена при  $x \in Z$  и  $u \in U(z, t_i)$ , где  $U(z, t_i)$  – объединение множеств  $U(x, t_i)$  при  $x \in Z_i$ . Последовательность векторов  $u(t_i)$  будем называть допустимым управлением при ограничении (14) при всех  $i = 0, 1, \dots, k$ .

При реализации парадигмы [10] на основе модифицированной модели СИФ в качестве конкурирующей вычислительной технологии используется нейродинамическая модель (ND-модель), включающая нейронечеткую (NF-модель) и нейроразвивающую NE-модель. Как показывают результаты моделирования [2],[3] эта модель дает существенные преимущества при реализации динамики NN-системы в условиях значительной и полной неопределенности исследуемого динамического процесса. Преимущество подхода [7] для множества достижимости при интерпретации NN-систем проявляются только в условиях слабой неопределенности и незначительной нестационарности процесса взаимодействия. На основе этих особенностей ниже рассмотрены задачи идентификации, аппроксимации и прогноза динамики аварийного судна в рамках ND-моделирования.

#### 4. Модифицированная СИФ в задачах идентификации

Решение задачи идентификации при контроле динамики аварийного судна ведется с помощью нейросетевых ансамблей и интегрированных нейронных сетей [1]-[5]. Структура нейросетевого ансамбля реализована в задаче идентификации текущей ситуации и при построении классификатора эталонных моделей климатических спектров морского волнения (рис.4).

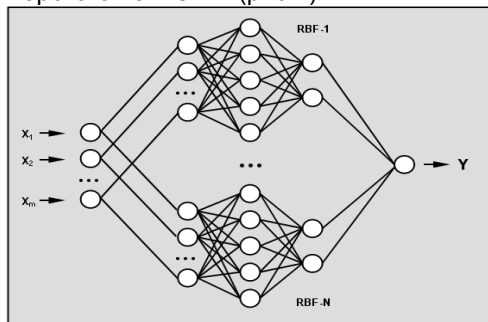


Рис. 4. Нейросетевой ансамбль, реализующий модели оценки текущей ситуации и соответствующего климатического спектра морского волнения

Ансамбль состоит из группы радиально-базисных (RBF) сетей, воспринимающих информацию от измерительной системы. Каждая сеть имеет  $m$  входов, на которые подается вектор измерений  $X_1, \dots, X_m$  (вектор состояния) и два параметра на выходе (1 – нормальное состояние, 0 – отказ). Если на выходе сети обнаружен отказ, то это свидетельствует о том, что поданный на нейросетевой ансамбль сигнал не соответствует ни одному из принятых эталонов

Результаты ND-моделирования при реализации функций интерпретации и управления модифицированной СИФ представлены на рис.5. Здесь Рис. 5а отображает интерпретацию поведения NN-системы с помощью кругов Эйлера (рис. 5а). Три концентрично вложенных круга Эйлера определяют информационные границы для оператора по способам формирования управляющих решений [1]-[3] на основе идентификации аварийной ситуации. Рис. 5б,в отображают когнитивные спирали [3] в задаче распознавания экстремальных ситуаций в случае сложной динамики аварийного судна при асимметричном (б) и симметричном (в) затоплении отсеков аварийного судна на волнении.

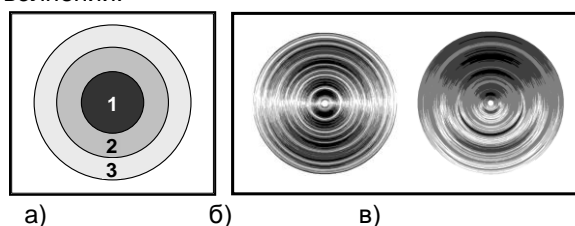


Рис. 5. Когнитивные структуры: а – круги Эйлера, б, в – когнитивные спирали

#### 5. Модифицированная СИФ в задачах аппроксимации

Формализация понятий и знаний при взаимодействии аварийного судна с внешней средой на основе модифицированной СИФ реализуется с помощью механизма логического вывода в режиме реального времени на основе NF-системы [1]-[3]. Система представлена в виде нейронечеткой сети ANFIS [14] (рис.6), в которой первый слой L-1 обеспечивает фаззификацию входных сигналов  $(x, y)$  и содержит две функции принадлежности (ФП) условий  $A_1$  и  $B_1$ . Второй слой L-2 осуществляет умножение входных параметров с целью реализации операции. Третий слой L-3 вычисляет отношение веса заданного правила к сумме весов  $w$  всех правил. В четвертом слое L-4 вычисляются выходы для каждого правила, пятый слой L-5 вычисляет общий выход системы как сумму сигналов.

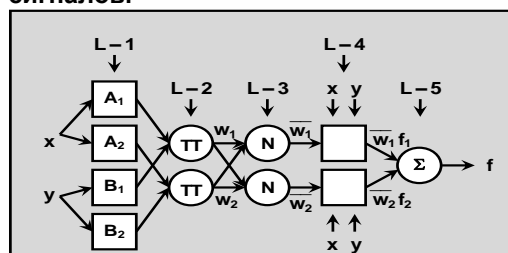


Рис. 6. Многослойная нейронечеткая сеть, реализующая механизм нечеткого вывода

Как видно из рис.6, функции NF-системы изменяются от узла к узлу и зависят от текущей ситуации и решаемой задачи. Наиболее сложную функцию реализует адаптивный узел с параметрами, изменяющимися в процессе обучения. Более простая функция характерна для постоянных узлов, параметры которых сохраняются неизменными в процессе обучения. Нейроны первого слоя содержат ФП, которые отражают степень, с которой входные параметры удовлетворяют лингвистическому значению, соответствующему данному узлу.

Наличие измерительной информации, поступающей с датчиков измерительной системы при функционировании вычислительного комплекса, позволяет использовать нейросетевые модели в задачах нейроаппроксимации и нейропрогноза, а также при выявления «скрытых» знаний в рамках концепции Data Mining (рис.7).

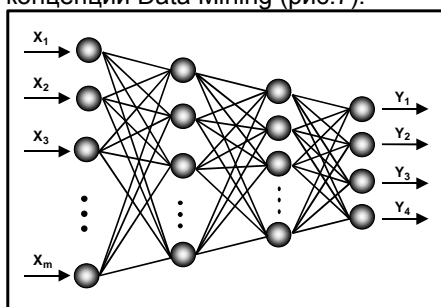


Рис. 7. Нейроаппроксимация аварийной ситуации с использованием 4-х выходных факторов

Приведенная на этом рисунке нейросетевая модель представляют собой топологию многослойного персептрона, реализующего контроль динамики аварийного судна в процессе эволюции текущей ситуации. В качестве выходных параметров (факторов) используются равновесные параметры аварийного судна (крен, дифферент, осадки носом и кормой). Структура этой модели реализует также прогноз безопасной скорости и курсового угла волны (два выходных фактора) в зависимости от интенсивности внешних возмущений. Задачи нейроаппроксимации решаются в рамках принципа конкуренции.

### 6. Модифицированная СИФ в задачах прогноза и управления

В связи со сложностью задачи многорежимного управления при прогнозе динамики аварийного судна в сложных условиях рассматривают одношаговый и многошаговый нейропрогноз. *Одношаговый прогноз* осуществляется только на один шаг вперед и используется для краткосрочных прогнозов. Результатом прогноза является не только конкретное значение, но и класс, к которому принадлежит переменная [3]. *Многошаговый прогноз* используется для реализации долгосрочного прогноза и предназначен для определения основного тренда и главных точек изменения тренда для некоторого промежутка времени в будущем. Прогнозируемая система использует

полученные (выходные) данные  $y[k+1]$  в качестве входных данных для прогнозирования на моменты времени  $k+2, k+3$  и т.д. Процесс построения прогнозирующей модели предусматривает предварительное определение количества используемых элементов временного ряда и ошибок прогноза в соответствии с общей стратегией прогнозирования на основе фрактальной структуры модифицированной СИФ (рис.8). Процедуры СИФ построены в рамках моделирования с учетом возникновения скачкообразных явлений в параметрах аварийного судна. После выполнения этих операций схема построения нейронной сети включает решение задач структурного и параметрического синтеза.

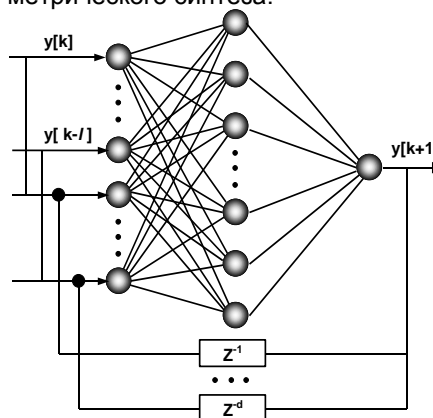


Рис. 8. Нейросетевой предиктор, реализующий стратегию прогнозирования динамики аварийного судна

В условиях неопределенности может рассматриваться выход ИНС в виде нечеткого числа [3]. Для интерпретации результата в этом случае вводится мера различия нечетких чисел, называемая *индексом различия* (dissemblance index). Такая мера служит для определения выходов, близких к функции-прототипу, на которых обучалась ИНС, и выбора актуального нечеткого значения. Множество значений «функция – интервал» действительных чисел от 0 до 1 позволяет выразить индекс различия через координаты  $\alpha$ -уровней нечетких чисел:

$$\delta(C, C^*) = 0,5 \int_{\alpha=0}^1 (|C_1^{(\alpha)} - C_1^{*(\alpha)}| + |C_2^{(\alpha)} - C_2^{*(\alpha)}|) d\alpha. \quad (14)$$

Если  $\delta(C, C^*) \approx 0$ , то нечеткие числа  $C_\alpha, C_\alpha^*$  практически идентичны, а если  $\delta(C, C^*) \approx 1$  – абсолютно различны. Для виртуального измерительного устройства с тремя входами (с тремя обученными ИНС) истинным считается выход с наименьшим значением индекса различия, а для устройства с двумя входами (в случае перекрытия ФП) – выбирается пара значений, имеющих наименьшие индексы различия.

Большой практический интерес для глубокого понимания сложных процессов взаимодействия аварийного судна с внешней средой представляет изучение существенных изменений законо-

мерностей временных рядов, отображающих динамику таких процессов и прогнозирование их изменений во времени. Рассматриваемая модель предполагает обнаружение моментов времени возникновения скачкообразных явлений при интерпретации эволюции аварийного судна при движении к целевому аттрактору. В предельном случае, когда наблюдается «скачок» – потеря плавучести и остойчивости (возникновение катастрофы), появляется необходимость смены предиктора. Такая задача решена с помощью нейросетевой модели. Решение этой задачи достигается за счет удаления отдельных точек временного ряда, используемых для прогноза последующей точки.

Изменение поведения аварийного судна при движении к катастрофе, можно установить путем выделения «спокойных» и «сложных» периодов. «Спокойные» периоды – это участки, где перепад между средним и максимальным значениями измеряемой характеристики не превышает обычных отклонений в исследуемой временной последовательности (движение судна к целевому аттрактору). Как показывают результаты нейросетевого моделирования, на таких участках точность прогноза получается достаточно высокой.

Результаты нейросетевого моделирования, представлены на рис.9 в виде гистограммы, отображающей закономерности временной последовательности. Столбики гистограммы отражают относительные значения выявленных закономерностей (слева направо): реальное значение, значение, спрогнозированное предварительно обученной нейронной сетью (предиктором), результаты прогноза после последовательного удаления первого, второго и третьего значений из входного вектора нейросети. Светлые столбики – результат функционирования системы интеллектуальной поддержки на заданном интервале времени. Цифра на оси ординат характеризуют относительное значение прогнозируемого параметра X.

Из этого рисунка следует, что результат, полученный после удаления первой точки (третий столбик), оказался наиболее отличающимся от фактического (первый столбик) и прогнозного (второй столбик) значений, чем другие результаты (четвертый и пятый столбики).



Рис. 9. Гистограмма, отображающая результаты нейросетевого моделирования закономерностей скачкообразных явлений

Предварительная оценка появления «скачка» при эволюции NN-системы может быть выполне-

на на основе следующих соображений. Рассмотрим эволюцию аварийного судна в рамках концепции динамической модели катастроф. Пусть на систему «аварийное судно – внешняя среда» воздействует внешнее возмущение, вызванное нерегулярным волнением и нестационарными порывами ветра. В этих условиях возможно ухудшение восприятия судном внешних кренящих нагрузок при попадании судна в «потенциальную яму». Зафиксируем интервал времени  $[t_1, t_2]$ , на котором восстанавливающий момент аварийного судна на волнении  $M(\theta, \varphi, t)$  может достигать минимального значения. Положение минимума  $M(\theta, \varphi, t) \rightarrow \min$  можно установить, используя план Фибоначчи [13]. Практический пример реализации стратегии оценки «скачка» на основе плана Фибоначчи представлен на рис.10.

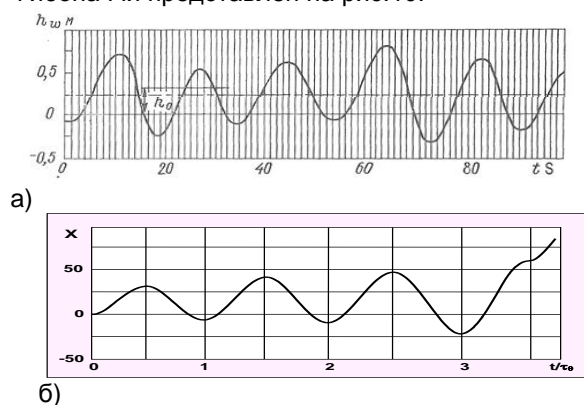


Рис. 10. Результаты оценки возникновения «скачка» при потере устойчивости NN-системы: а)  $h \rightarrow \min$  (валкость ДО); б)  $X = \theta \rightarrow 90^\circ$ ,  $M(\theta, \varphi, t) \rightarrow \min$  (опрокидывание)

Здесь рассмотрены относительные значения метацентрической высоты  $h$  и восстанавливающего момента  $M(\theta, \varphi, t)$  на волнении для двух вариантов возникновения «скачка» в процессе эволюции системы «аварийное судно – внешняя среда». Первый вариант (рис.10а) иллюстрирует результат резкого снижения метацентрической высоты при обвальном затоплении отсеков поврежденного судна. Второй вариант (рис. 10б) отображает результат формирования «потенциальной ямы» при прохождении гребня волны через мидель судна в условиях пониженной остойчивости. Как следует из приведенных данных, оба варианта возникновения «скачка» (катастрофы) представляют реальную угрозу безопасности аварийного судна в штормовых условиях, особенно в ситуации, когда оба рассматриваемых фактора действуют одновременно.

Согласно теореме Такенса [15] фазовый портрет NN-системы, восстановленный в виде:

$$Z(t) = \Lambda(y(t)) = (y(t), y(t - \tau), \dots, y(t - (m - 1)\tau)) = (z_1(t), \dots, z_m(t)) \quad (15)$$

топологически эквивалентен аттрактору NN-системы.



Параметр задержки  $\tau$  в (15) определяется временем пересечения траекториями системы сечения Пуанкаре [3]. Таким образом, для реконструкции аттрактора NN-системы по заданному временному ряду необходимо определить параметры реконструкции  $m$  и  $\tau$  и установить последовательности параметров, удовлетворяющих заданной точности в виде среднеквадратической погрешности многошагового прогноза:

$$\Delta^2 = \frac{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^{i+\tau} (x_j^* - x_j)^2}{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^{i+\tau} x_j^2}, \quad (16)$$

## Заключение

Современное развитие компьютерных технологий открывает возможности разработки теоретического базиса системы интеллектуальной поддержки проектных решений. Использование достижений ИИ в рамках парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде при интерпретации взаимодействия аварийного судна

с внешней средой позволяет сделать следующие выводы:

– выделены основные направления использования моделей СИФ, наиболее полно отражающих особенности поведения аварийного судна в условиях непрерывного изменения динамики внешней среды;

– разработаны модели приложения концепция динамической теории катастроф при геометрической и аналитической интерпретации динамики аварийного судна при различном уровне внешних возмущений.

– сформулированы принципы реконструкции моделей временных рядов, на базе которых формируется информационный предиктор в задачах прогнозирования динамики аварийного судна с использованием GN-системы в условиях неопределенности и неполноты исходной информации в нестационарной среде.

На основе концепции GN-систем разработан математический аппарат геометрической и аналитической интерпретации текущих ситуаций при комплексном использовании достижений современной компьютерной математики и средств высокопроизводительных вычислений. Результаты проведенных исследований доложены на Международном конгрессе в Эдинбурге (Великобритания) в июне 2015 года.

## Литература

1. *Нечаев Ю.И.* Теория катастроф: современный подход при принятии решений. – Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2011.
2. *Нечаев Ю.И., Петров О.Н.* Непотопляемость судов: подход на основе современной теории катастроф. – Санкт-Петербург Арт-Экспресс, 2014.
3. *Нечаев Ю.И.* Топология нелинейных нестационарных систем: теория и приложения. – Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2015.
4. *Nechaev Yu.I., Petrov O.N.* Control of functioning regimes of on-board intelligence systems of safety monitoring // Proceedings of the 9<sup>th</sup> International ship stability workshop. Hamburg, Germany. Aug/ 30-31. 2007, p.p.1-9.
5. *Нечаев Ю.И.* Принципы нейродинамики в задачах адаптивной идентификации и прогноза на основе методов теории катастроф в среде «облачной» модели // XVI Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2014». Лекции по нейроинформатике. М.: МИФИ. 2014, с.199 – 246.
6. *Кронновер Р.М.* Фракталы и хаос в динамических системах. – М.: Техносфера, 2000.
7. *Черноусько Ф.Л.* Оценивание фазового состояния динамических систем: метод эллипсоидов. – М.: Наука, 1988.
8. *Моисеев Н.Н.* Избранные труды, М. Тайдекс Ко, 2003.
9. *Колмогоров А.Н.* Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987.
10. *Солодовников В.В., Тумаркин В.И.* Теория сложности и проектирование систем управления. — М.: Наука, 1990.
11. *Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х.* Красота фракталов. — М.: Мир, 1993.
12. *Лазарев В.Л.* Теория энтропийных потенциалов. – Санкт-Петербург. Изд-во Политехнического университета, 2012.
13. Помехоустойчивые коды: Компьютер Фибоначчи. – М.: Знание. Радиоэлектроника и связь. Вып.6. 1989.
14. *Jang J.S.R.* ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference Systems // IEEE Trans. On systems, man and cybernetics. Vol.23. 1993, p.p.665–685.
15. *Takens F.* Lectures notes in mathematics. Vol. 898. — N.Y. Springer. 1981, p.p.366–381.

### References

1. *Nechaev Yu.I.* Teoriya katastrof: sovremennyy podkhod pri prinyatii resheniy [Catastrophe theory: the modern approach to decision-making]. Saint-Petersburg, Art-Express Publ., 2011.
2. *Nechaev Yu.I., Petrov O.N.* Nepotoplyaemost' sudov: podkhod na osnove sovremennoy teorii katastrof [Ship unsinkability: an approach on the basis of modern catastrophe theory]. Saint-Petersburg, Art-Express Publ., 2014.
3. *Nechaev Yu.I.* Topologiya nelineynykh nestatsionarnykh sistem: teoriya i prilozheniya [Topology of non-linear non-stationary system: theory and application]. Saint-Petersburg, Art-Express Publ., 2015.
4. *Nechaev Yu.I., Petrov O.N.* Control of functioning regimes of on-board intelligence systems of safety monitoring // Proceedings of the 9<sup>th</sup> International ship stability workshop. Hamburg, Germany. Aug, 30-31. 2007, p.p.1-9.
5. *Nechaev Yu.I.* Printsipy neyrodinamiki v zadachakh adaptivnoy identifikatsii i prognoza na osnove metodov teorii katastrof v srede «oblachnoy» modeli [Neurodynamics principles in problems of adaptive identification on the basis of catastrophe theory methods in cloud environment]. (Processing of 16th XVI All-Russian Scientific and Technical Conference «Neuroinformatics-2014». Neuroinformatics lectures). Moscow, MIFI Publ., 2014, p.p.199 – 246.
6. *Kronnover R.M.* Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh [Fractals and chaos in dynamic systems]. Moscow, Postmarket Publ., 2000.
7. *Chernous'ko F.L.* Otsenivanie fazovogo sostoyaniya dinamicheskikh sistem: metod ellipsoidov [Phase state evaluation of dynamic systems: ellipsoid method]. Moscow, Science Publ., 1988.
8. *Moiseev N.N.* *Izbrannye trudy [Selected proceedings]*. Moscow. Tydex Co, 2003.
9. *Kolmogorov A.N.* Teoriya informatsii i teoriya algoritmov [Information theory and algorithms theory]. Moscow, Science Publ., 1987.
10. *Solodovnikov V.V., Tumarkin V.I.* Teoriya slozhnosti i proektirovanie sistem upravleniya [Complexity theory and control systems design]. Moscow, Science Publ., 1990.
11. **Paytgen Kh.-O., Rikhter P.Kh. Krasota fraktalov [Beauty of fractals]. Moscow, World Publ., 1993.**
12. *Lazarev V.L.* Teoriya entropiynykh potentsialov [Theory of entropy potentials]. Saint-Petersburg. STU Publ., 2012.
13. *Pomekhoustoychivye kody: Komp'yuter Fibonachchi [Antijamming codes: Fibonacci computer]*. Moscow, Knowledge: Radio electronics and communication Publ., Issue 6. 1989.
14. *Jang J.S.R.* ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference Systems. IEEE Trans. On systems, man and cybernetics. Vol.23. 1993, p.p.665–685.
15. *Takens F.* Lectures notes in mathematics. Vol. 898. N.Y. Springer. 1981, p.p.366–381.

УДК 519.711.2

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Тарануха Николай Алексеевич**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой кораблестроения  
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27  
e-mail: taranukha@knastu.ru.

**Васильев Алексей Сергеевич**

аспирант  
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27  
e-mail: vasil-grunt@mail.ru

### Аннотация

В работе предлагается модель статически неопределимой конструкции из композитного материала при последовательном увеличении нагрузки. Цель – формулирование критерия и установление запаса прочности конструкции. В качестве численного метода для исследования был выбран метод конечных элементов. Для расчетов использовалась матрица жесткости пространственного восьми узлового композитного конечного элемента в виде параллелепипеда, разработанная авторами настоящей статьи. Для численного иллюстрирования исследований в качестве композитного материала выбран железобетон.

В работе наглядно показан процесс постепенного разрушения материала конструкции на различных этапах нагружения. Доказано, что конструкция, в силу своих физических и геометрических особенностей, имеет больший запас прочности, чем в действующих нормативных документах и других расчетных методиках. Учтена физическая нелинейность материалов в процессе нагружения. Модель автора сравнивалась с результатами в других программных продуктах: ПК ЛИРА, ANSYS. При этом расчеты велись посредством разработанных автором программ, реализующих метод конечных элементов как линейно, так и в нелинейной постановке. Разница в расчетах не превышает 10%.

**Ключевые слова:** математическая модель, предел прочности, алгоритм, физическая нелинейность, критерий прочности, деформации, композитный материал, матрица жесткости.

## NUMERICAL INVESTIGATION PROBLEMS LIMIT CARRYING CAPACITY OF COMPOSITE STRUCTURES

**Taranukha Nikolay Alekseevich**

Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Shipbuilding  
Komsomolsk-on-Amur State Technical University  
681013, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenina pr  
e-mail: taranukha@knastu.ru.

**Vasilyev Alexey Sergeevich**

post-graduate student  
Komsomolsk-on-Amur State Technical University  
681013, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenina pr  
e-mail: vasil-grunt@mail.ru

### Abstract

We propose a model of a statically indeterminate structure composite material by successively increasing load. The goal - the formulation of criteria and the establishment margin of safety design. As a numerical method for the study was selected finite element method. The calculations used the stiffness matrix composite spatial eight nodal finite element in the form box. The stiffness matrix is developed by the authors of this article. To illustrate the numerical studies as a composite material reinforced selected. This material is a composite material common in the field of marine technology.

The work clearly shows the gradual destruction of construction material in various stages of loading. It is proved that the structure, due to their physical and geometric features, has a greater margin of safety than the existing regulations and other settlement methods

Noted physical nonlinearity of materials during loading. The model was compared with the results of the author's other software products: LIRA, ANSYS. At the same calculations were developed by the author of programs that implement the method of finite elements both linear and nonlinear formulation. Difference calculation does not exceed 10%.

**Key words** the mathematical model, tensile strength, ability, physical nonlinearity strength criterion, strain composite material stiffness matrix.

### Введение

Расчет конструкций из композитных материалов осуществляется, согласно критериям предельных состояний, как по методикам из нормативных документов, так и при помощи численных методов строительной механики, в частности метода конечных элементов с применением итерационных процедур и основных принципов механики деформируемого твердого тела.

В данной работе предлагается численное моделирование напряженно-деформированного состояния статически-неопределимой железобетонной рамы, имеющей два пролета.

Цель работы: разработка и проверка методики расчета конструкций из композитных материалов при потере несущей способности и достижении конструкцией предельного состояния. Для достижения этой цели сформулированы следующие задачи: проектирование математической модели рамы с применением разработанных автором программ [1]; учет совместной работы нескольких материалов в одной конструкции; формулирование критерия предельной прочности конструкции.

## 1. Основные характеристики математической модели

### 1.1. Матрица жесткости композитного конечного элемента

В расчетах использовался специальный объемный композитный конечный элемент (КЭ) в виде параллелепипеда, способный сочетать в себе совместную работу материалов с разными модулями упругости и пределами прочности.

Матрица жесткости разработана авторами настоящей статьи. Стандартный блок ее вычисляется по формуле [3]:

$$[K]_{ij}^{(k)} = \iiint_{V_i} ([B]^{(j)})^T [D]_{np} [B]^{(k)} dV \quad (1)$$

Здесь  $V$  – объем КЭ;  $[B]$  – так называемая матрица деформаций, которая для КЭ в виде прямоугольного параллелепипеда содержит 8 блоков по числу узлов;  $k$  и  $j$  – номера узлов КЭ,  $i$  – номер КЭ;  $D_{np}$  – приведенная матрица упругости.

Модуль упругости и коэффициент Пуассона для матрицы упругости, с учетом совместной ра-

боты нескольких материалов в одном КЭ, находятся согласно следующим выражениям:

$$E_{np} = \frac{E_1 S_1 + E_2 S_2}{S_1 + S_2} = \frac{E_1 S_1 + E_2 S_2}{4bc}, \quad (2)$$

$$\nu_{np} = \frac{\nu_1 S_1 + \nu_2 S_2}{S_1 + S_2} = \frac{\nu_1 S_1 + \nu_2 S_2}{4bc} \quad (3)$$

Здесь  $E_1$  и  $E_2$  – соответственно модули нормальной упругости для 1-го и 2-го материалов в составе композита,  $S_1$  и  $S_2$  соответственно площади поперечных сечений для 1-го и 2-го материалов в составе композита,  $b$  – половина длины конечного элемента по оси  $Y$ ,  $c$  – половина длины конечного элемента по оси  $Z$ ,  $\nu_1$  и  $\nu_2$  – соответственно коэффициенты Пуассона для 1-го и 2-го материалов в составе композита.

### 1.2. Нелинейность в модели

В расчетах учитывалась физическая нелинейность модели, обусловленная непропорциональной связью между деформациями и напряжениями [2]:

$$\{\sigma\{\varepsilon\}\} = [D\{\varepsilon\}]\{\varepsilon\} \quad (4)$$

Для учета деформационных зависимостей использовалась диаграмма деформирования материала при сжатии, изображенная на рисунке 1. При этом принимается, приближенно [4]:

$$\sigma_{bt} = 0.6R_b, \quad \varepsilon_{bt} = \frac{\sigma_{bt}}{E_b} \quad (5)$$

$$\sigma_{bt1} = 0.6R_{bt}, \quad \varepsilon_{bt1} = \frac{\sigma_{bt1}}{E_b} \quad (6)$$

Где  $\sigma_b$  и  $\sigma_{bt}$  соответственно наибольшие значения главных напряжений, соответствующих сжатию или растяжению материала,  $\varepsilon_b$  и  $\varepsilon_{bt}$  – предельные упругие деформации сжатия и растяжения материала.

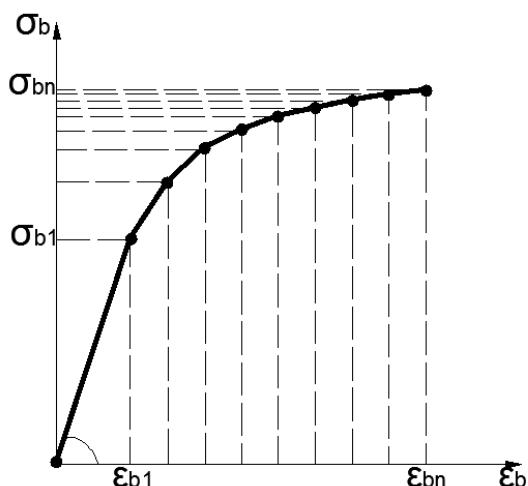


Рис. 1. Диаграмма деформированного бетона при сжатии, аппроксимированная прямыми

$\epsilon_{bn}$  – предельные деформации материала при сжатии, принимаемые 0.002;  $\epsilon_{btn}$  – предельные деформации материала при растяжении, принимаемые 0.0001;  $\sigma_{bn}$  и  $\sigma_{btn}$  – напряжения, соответствующие предельным деформациям материала при сжатии и растяжении соответственно.  $\sigma_{bn}=R_b$ ,  $\sigma_{btn}= R_{bt}$ . В результате, аппроксимируя диаграммы деформирования бетона при сжатии и растяжении, получаются модули упругости на различных интервалах деформаций.

При этом для определения напряженно-деформированного состояния в сжатой зоне бетона используют диаграмму на рисунке 1 и формулы (5). При расчете образования трещин по нелинейной деформационной модели растянутого бетона используются диаграмма деформирования растянутого бетона и формулы (6).

### 1.3 Учет работы арматуры в модели

Предел текучести арматуры вычисляется по приведенному напряжению, согласно третьей теории прочности с учетом объема арматуры в общем объеме конечного элемента:

$$\sigma_{np} = \frac{S_1 + S_2}{S_2} \sigma_1 - \frac{S_1 + S_2}{S_2} \sigma_3 \geq R_s \quad (7)$$

Здесь  $S_1$  и  $S_2$  соответственно площади поперечных сечений конечного элемента, для материала №1 (бетон) и материала №2 (сталь) в составе композита, Где  $R_s$  – предел прочности стали на растяжение (сжатие),  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  – главные напряжения в КЭ ( $\sigma_1 \geq \sigma_3$ ). При превышении предела текучести, жесткость арматуры становится равной нулю, и сталь перестает принимать на себя напряжения от нагрузки.

## 2. Модель статически-неопределимой железобетонной рамы

### 2.1. Исходные данные для расчетов

Расчет рамы осуществлялся методом конечных элементов, с использованием разработанных

автором программ, а так же сравнивался с расчетами в ПК ЛИРА [3].

Рассмотрим 2-х пролетную железобетонную раму прямоугольного сечения. Характеристики материалов следующие: бетон  $R_b = 20$  МПа,  $R_{bt} = 1.75$  МПа, начальный  $E_b = 30000$  МПа,  $\nu = 0.2$ ,  $\epsilon_b = 0.002$ ,  $\epsilon_{bt} = 0.0001$ ; арматура класса AIII:  $R_s = 400$  МПа,  $E_s = 200000$  МПа. Диаметр арматуры 25 мм, площадь поперечного сечения рамы: 100 x 600 для стоек и 600 x 100 для ригелей.

Расчетная схема и схема армирования приведены на рисунке 3. Основания стоек рамы жестко защемлены, перемещения там запрещены. Соответствующая информация об этом содержится в матрице индексов.

Геометрия модели и схема разбивки рамы на конечные элементы приведены на рисунке 3. Конструкция состоит из 1800 КЭ. Из них 400 элементов сочетают в себе совместную работу двух сред: бетона и стальной арматуры. Начиная с первой ступени, нагружение осуществлялось вертикальными силами по  $\Delta P = 50$  кН.

### 2.2. Критерий прочности статически-неопределимой рамы

Максимальные деформации и напряжения имеют КЭ, непосредственно на которые приходится нагрузка. Учитывая, что нагрузка по поперечному сечению проходит равномерно, возьмем два таких КЭ. При том, один из нагружаемых КЭ в верхней части пролета имеет большие деформации, чем остальные элементы рамы. Построим график зависимости деформаций этого КЭ от нагрузки на последних трех шагах нагружения, то есть при нагрузках, соответственно 600, 650 и 700 кН. Размер деформаций взят по модулю.

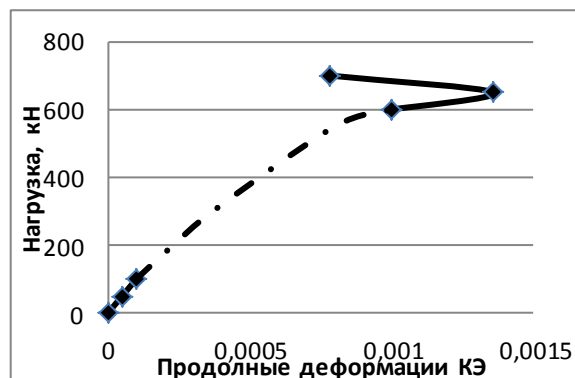


Рис. 2. График изменения величины продольных деформаций от нагрузок.

Как видно на графике, деформации на определенном этапе нагружения начинают уменьшаться. Задавая данную зависимость аналитическим путем, используя интерполяционный полином Лагранжа, получаем в результате квадратичный полином  $\epsilon=0.00000018 \cdot P^2 - 0.000241 \cdot P + 0.076$

Вычисляя координату вершины параболы, получаем  $P=644,25$  кН. Эту нагрузку и будем считать разрушающей для оставшегося материала

верхней части, и, как, следствие, для самой рамы.

В результате расчета, напряжения в арматуре растянутой зоны нагружаемого пролета превысили предел текучести, вследствие чего она

перестала принимать на себя напряжения от нагрузки. Однако, конструкция при этом разрушенной не является, пока работает некоторая часть сжатой зоны бетона и верхняя арматура.

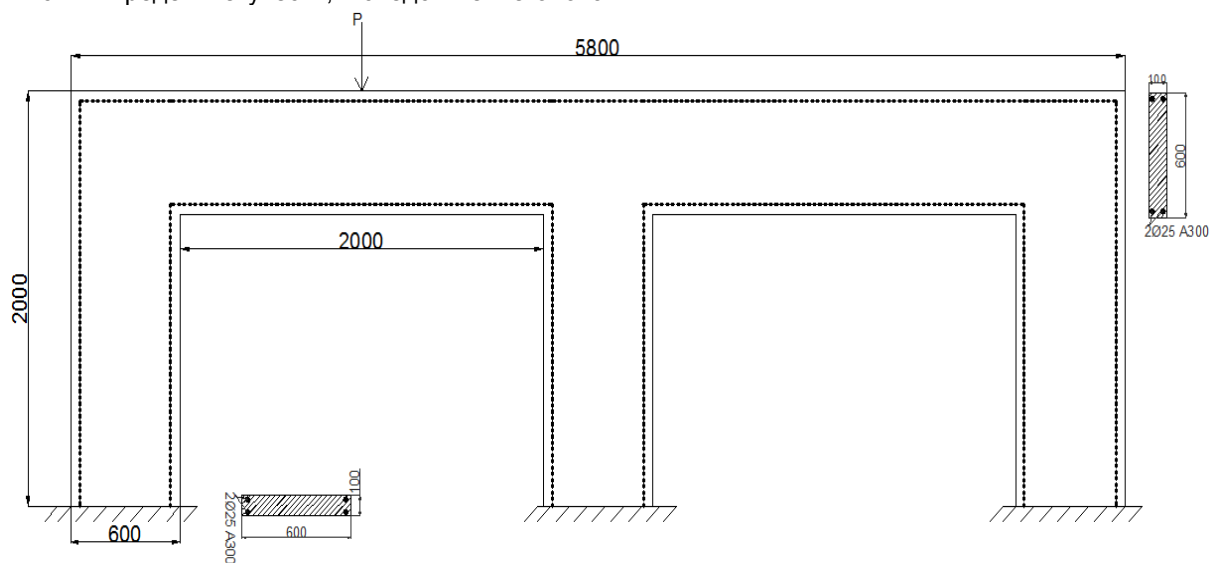


Рис. 3. Расчетная схема 2-х пролетной рамы

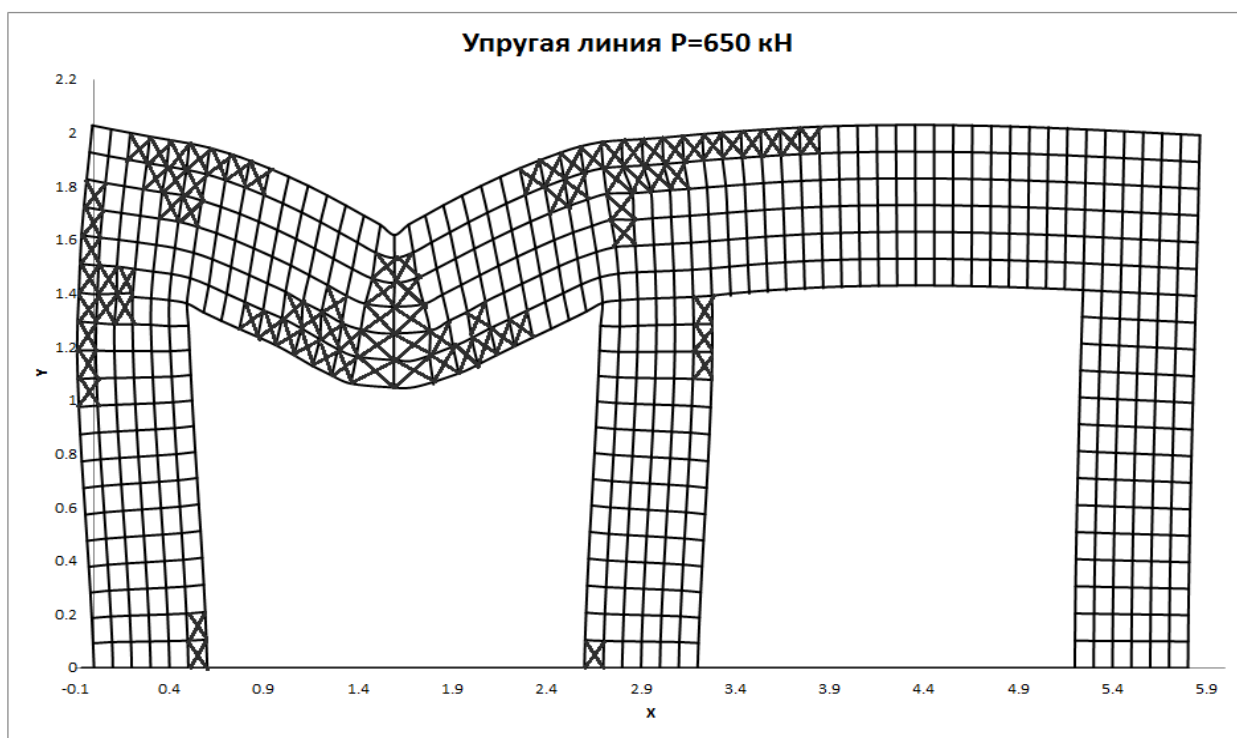


Рис. 4. Разрушение 2-х пролетной рамы при нагрузке 650 кН



На рисунке 4 изображена форма искривления 2-х пролетной рамы. Показаны разрушенные конечные элементы, жесткость которых равна 0.

### 2.3. Сравнение расчетов автора с расчетом в ПК ЛИРА

Для сопоставления результатов расчета автора использовался программный комплекс ЛИРА САПР 2012.

Для расчетов использовался признак схемы 2, разрешающий перемещения вдоль горизонтальной и вертикальной осей, а так же поворот вокруг оси Y. Направления осей и 3D модель изображены на рисунке 5. В расчетах применялся конечный элемент № 210 – физически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ.

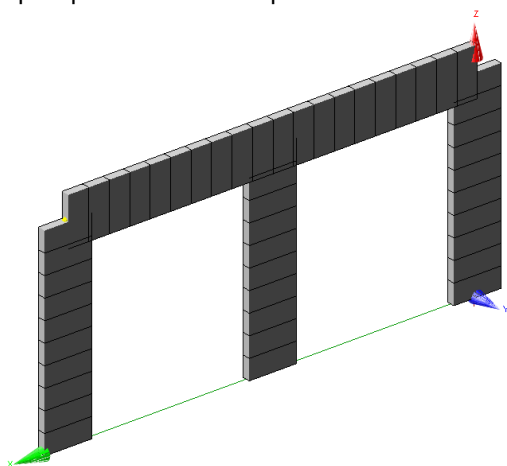


Рис. 5. 3D модель двух-пролетной рамы в ПК ЛИРА

При назначении жесткости сечений была учтена нелинейность. В качестве закона нелинейного деформирования материала выбирался экспоненциальный закон деформирования, как для основного материала, так и для армирующего.

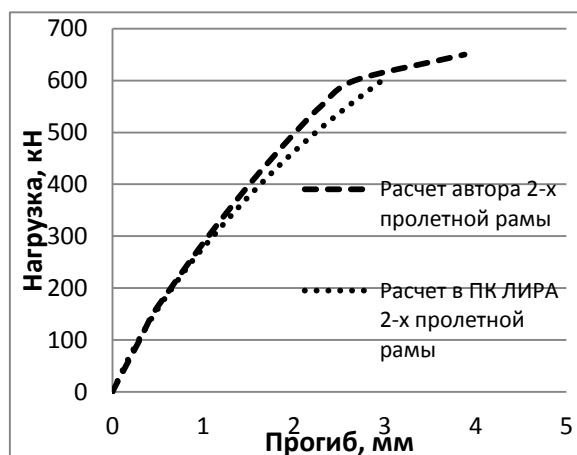


Рис. 6. Максимальные прогибы нагружаемого пролета рамы на каждом этапе нагружения при расчете автора и расчете в ПК ЛИРА.

На рисунке 6 приведено сравнение расчетов автора с расчетом в ПК ЛИРА

Как видно из графика, модель, предложенная автором, обладает большим запасом прочности и имеет в результате больший прогиб.

### Заключение

Спроектирована математическая модель и рассчитана конструкция рамы, с учетом совместной работы нескольких материалов в одной конструкции.

Сформулирован критерий предельной прочности конструкции. С учетом рассмотренного критерия прочности, несущая способность рамы в расчете автора составляет 644,25 кН при прогибе 3.8 мм. Эти результаты соответственно на 6.8% и 22% превышают результаты, полученные в ПК ЛИРА.

### Литература

Васильев, А. С., Тарануха Н. А. Программное обеспечение для расчета перемещений в конструкциях из композитных материалов методом конечных элементов (ПО «Composit»). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015610761 2015 г.

Клованич, С. Ф., Безушко Д. И. Метод конечных элементов в расчетах пространственных железобетонных конструкций. Одесса: Изд-во ОНМУ, 2009. 89 с.

Программный комплекс ЛИРА - САПР 2012. Учебное пособие. Электронное издание / Р.Ю. Водопьянов [и др.]. М., 2012. 208 с.

Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003: СП 63.13330.2012. Введен 1 января 2013 г. // М: институт ОАО "НИЦ "Строительство" - 2013. – 01 января.

### References

Vasil'ev, A. S., Taranukha N. A. Programmnoe obespechenie dlya rascheta peremeshcheniy v konstruktsiyakh iz kompozitnykh materialov metodom konechnykh elementov (PO «Composit»). Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM № 2015610761 2015 g.

Klovanych, S. F., Bezushko D. I. Metod konechnykh elementov v raschetakh prostranstvennykh zhelezobetonnykh konstruktsiy. Odessa: Izd-vo ONMU, 2009. 89 p.

Programmnyy kompleks LIRA - SAPR 2012. Uchebnoe posobie. Elektronnoe izdanie R.Yu. Vodop'yanov [i dr.]. M., 2012. 208p .

Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003: СП 63.13330.2012. Введен 1 января 2013 г. М: институт ОАО "НИИ "Строительство" - 2013. – 01 января.

## **Проектирование и конструкция судов**

УДК 629.123

### **ТИПЫ МОРСКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ: ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ**

**Бережной Константин Геннадьевич**

заведующий лабораторией «Океанотехника и морские технологии»,  
Санкт Петербургский государственный морской технический университет  
190008 г.Санкт - Петербург, ул. Лоцманская д.3  
e-mail:k.g.berezhnoi@gmail.com

**Вербицкий Сергей Владимирович**

кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Океанотехника и морские технологии»,  
Санкт Петербургский государственный морской технический университет  
190008 г.Санкт - Петербург, ул. Лоцманская д.3  
e-mail: s\_offshore@ksrc.ru

#### **Аннотация**

В статье представлен обзор современного флота морских плавучих технологических платформ различных типов. В настоящее время, подобные объекты выполняют разнообразные функции, а сам обзор соответствует разделению мирового флота платформ по функциональному назначению: добычные платформы (FPU), добычные платформы с возможностью хранения в корпусе и отгрузки добытых углеводородов (FPSO, FLNG), а также бурения эксплуатационных скважин (FPDSO). Указанные функции выполняют объекты различных архитектурно-конструктивных типов. Это платформы судовой и цилиндрической формы корпуса, полупогружные платформы. По каждому типу платформ дан краткий обзор развития, а также приведена актуальная информация по составу флота объектов данного типа.

Отмечены достоинства и недостатки относительно восприимчивости к внешним нагрузкам, универсальности (способ заканчивания, возможность организации хранения в корпусе добытых углеводородов, возможность бурения эксплуатационных скважин), эксплуатационных возможностей (диапазон эксплуатационных глубин, сложности при строительстве объектов). В заключении сделаны выводы по основным тенденциям развития морских плавучих технологических платформ и приведен состав мирового флота технологических платформ.

**Ключевые слова:** морская технологическая платформа, морские месторождения, турельное судно, полупогружная платформа

### **TYPES OF OFFSHORE FLOATING TECHNOLOGY PLATFORMS: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES**

**Berezhnoy Konstantin**

Head of lab "Offshore technologies"  
State marine technical university of Saint-Petersburg  
Lotsmanskaya 3, Saint Petersburg 190008, Russian Federation  
e-mail: k.g.berezhnoi@gmail.com

**Verbickij Sergej**

PhD in Technical Sciences  
Head of Chair "Offshore technologies",  
State marine technical university of Saint-Petersburg  
3, Lotsmanskaya, Saint Petersburg, 190008  
e-mail: s\_offshore@ksrc.ru

### Abstract

This article provides a current overview of offshore floating technology platforms of different types. Currently, these objects serve a variety of functions and the review is based on the breakdown of the world platform fleet according to their functional purpose, i.e. floating production units (FPU), floating production storage and offloading oil or LNG (FPSO, FLNG), as well as drilling of wells being exploited (FPDSO). These functions are performed with platforms of different types. There are vessel and cylindrical hull shape forms and semisubmersible platforms. A brief development review is provided regarding each type, and up-to-date information is given regarding fleet composition for each type. Also in the article are listed advantages and disadvantages for each types platforms which connect with susceptibility loads from environment, multifunctional (wet or dry type wellhead, storage hydrocarbons in the hull, possibility to drill new wells), exploitation possibilities (water depths, constructions platforms). Conclusions have been made concerning main trends in the development of floating offshore platforms and data about world fleet platforms.

**Key words:** offshore platform, offshore fields, turret vessel, semisubmersible platform

### Введение

Современные плавучие технологические платформы выполняют широкий спектр задач, связанных с добычей углеводородов на глубоководном шельфе. Условно, по выполняемым функциям можно разделить все технологические платформы на следующие типы:

- Floating Production Unit (FPU) - выполняют функции добычи, первичной переработки добытого сырья и отгрузки полученных продуктов по трубопроводу на берег либо в расположенное неподалеку плавучее хранилище;
- Floating Storage and Offloading (FSO) - выполняют роль нефтехранилищ и осуществляют периодическую отгрузку углеводородов на челночный танкер;
- Floating Production Storage and Offloading (FPSO) - объединяют в себе функции платформ FPU и FSO, имеют оборудование для переработки нефти, резервуары внутри корпуса для ее хранения и осуществляют периодическую отгрузку

добытых углеводородов на челночный танкер (а также возможна отгрузка углеводородов по трубопроводу на берег);

- Floating Production Drilling Storage and Offloading (FPDSO) выполняют функции платформ FPSO, а также имеют буровое оборудование для строительства эксплуатационных скважин на месторождении;
- Floating Liquefied Natural Gas (FLNG) во многом схожи с платформами FPSO, но основным добываемым продуктом является природный газ. FLNG имеют оборудование для добычи, очистки, сжижения, хранения в корпусе и отгрузки углеводородов на челночные газовозы СПГ.

При этом платформы с близкими функциональными возможностями, могут иметь различные архитектурно - конструктивные типы (табл. 1) [1, 2, 3, 4]. Это объясняется различием между внешними условиями на месторождениях, составом добываемого продукта и удаленностью берега

Таблица 1

#### Архитектурно конструктивные типы и функциональные возможности технологических платформ

Архитектурно – конструктивный тип формы корпуса		Количество объектов, шт	Выполняемые функции	
Судовая	Турельное судно	ок. 100	FSO	– хранение – отгрузка на челночный танкер
		ок. 160	FPSO	– добыча – переработка добытого сырья – хранение – отгрузка на челночный танкер
		2	FPDSO	– добыча – бурение – переработка добытого сырья – хранение – отгрузка на челночный танкер
		1(3)	FLNG	– добыча – сжижение природного газа – хранение – отгрузка
Цилиндрическая	Вуоу	4(1)	FPSO	– добыча – переработка добытого сырья
	Spaг	(1)		

Архитектурно – конструктивный тип формы корпуса		Количество объектов, шт	Выполняемые функции	
		1	FSO	– отгрузка на челночный танкер – хранение – отгрузка на челночный танкер
		24	FPU	– добыча – бурение (не все платформы) – переработка добытого сырья – отгрузка по трубопроводам
		5	FPU	
Многокорпусная	TLP	20	FPU	
	Semi Submersible	ок. 50	FPU	

(n)- количество платформ в постройке

### 1. Судовая форма корпуса - турельное судно

#### 1.1. Общие сведения

Платформа судовой формы корпуса по сути представляет собой наливной танкер, на верхней палубе которого размещается оборудование для переработки углеводородов. Как правило платформа, удерживается на месторождении посредством турельного устройства. Данное устройство расположено в носовой части и позволяет судну свободно вращаться вокруг точки заякорения, занимая наиболее благоприятное положение относительно результирующей внешних нагрузок (волна, ветер, течение).

#### 1.2. FPSO судовой формы корпуса

Считается, что первой FPSO была платформа Castellon компании Shell, располагавшаяся на шельфе Испании. Данная платформа была предназначена для добычи нефти на ме-

сторождении, расположенном примерно в 65 км от берега. Эксплуатация началась в 1977 и продолжалась 10-лет [5]. В дальнейшем, бразильский оператор Petrobras переоборудовал танкер "Presidente Prudente de Moraes" и поставил на разработку месторождения Gagoira в 1978 году. С тех пор применение плавучих производственных систем стало экономически оправданным как для мелких, так и крупных месторождений, и используются они практически на всех глубинах и в любых природных условиях (исключая ледовые) (рис.1).

Последние годы характеризовались быстрым увеличением мирового флота FPSO. В начале 2000-х годов эксплуатировалось около 90 FPSO. К концу 2003 г. насчитывалось уже более 130 платформ. В настоящее время в мире эксплуатируется свыше 160 FPSO (табл. 2), что составляет 60% от мирового флота плавучих технологических платформ всех остальных типов [2].

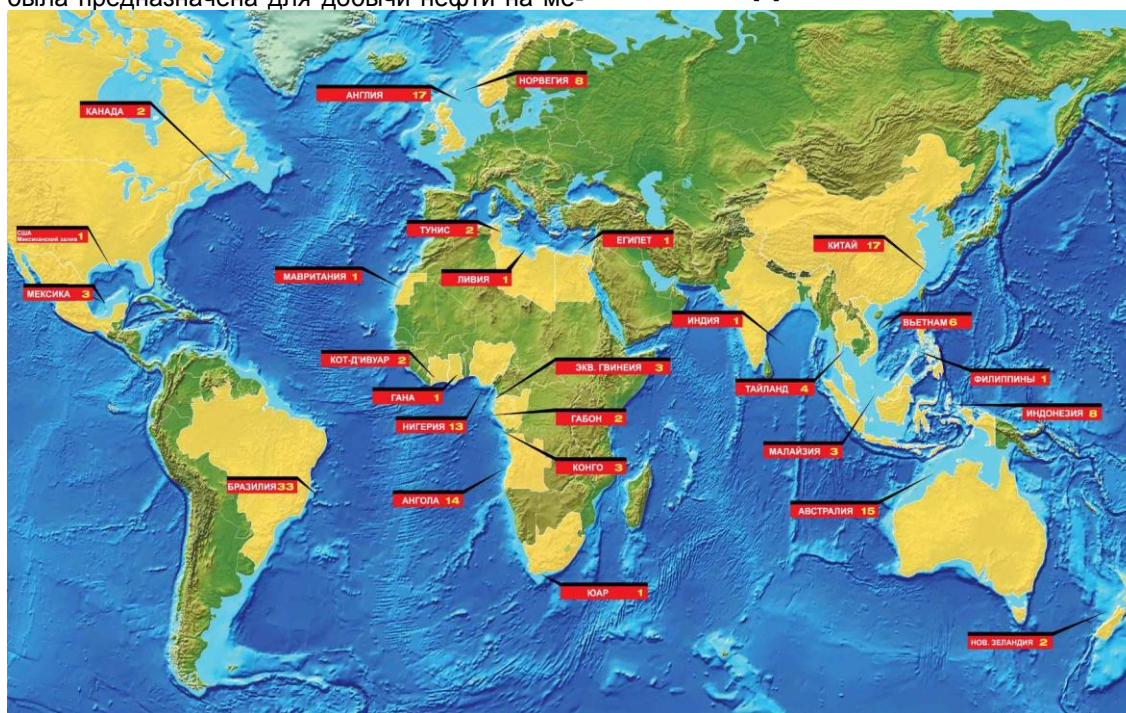


Рис. 1. Основные районы дислокации FPSO судовой формы корпуса

Платформы FPSO судовой формы корпуса (неполный перечень) [2, 6]

Таблица 2

№	Название	LxBxT, м	Масса верхнего строения, т	Производительность		Хранилище, тыс. м <sup>3</sup>
				нефть, м <sup>3</sup> /сут.	газ, тыс. м <sup>3</sup> /сут.	
1	Asgard A	278x45x19	30200	31797	-	150
2	Bleo Holm	322x56x20	6000	9539	-	100
3	Akpo	310x61x23	37000	38157	8127	150
4	Usan	310x61x24	27700	28618	991	320
5	Kizomba A	285x63x24	24400	39747	11327	350
6	Kizomba B	285x63x25	24400	15899	4248	150
7	Greater Plutonio	310x58x23	24000	24643	5380	150
8	Pazflor	325x61x25	37000	25438	5012	320
9	N'kossa	219x37x11	30000	10334	566	160
10	Agbami	320x58x24	34000	6359	1246	290
11	Dalia	300x60x23	30000	5565	-	320
12	Bonga	305x58x23	22000	27028	2832	225
13	Girassol	300x60x23	30000	9539	2549	320
14	Anasuria	226x45x17	11800	24961	3540	150
15	Norne	260x41x19	12810	35772	15008	320
16	North sea producer	236x40x15	9000	37521	1133	90
17	Petrojarl foinaven	250x34x9	11750	22258	-	42
18	Schiehalion	245x45x20	11700	14309	18859	160
19	Triton	244x42x16	8600	31797	7362	350
20	Petrojarl varg	214x38x16	5200	12719	-	160
21	OCX-1	271x46x18	8800	6359	198	150
22	Alvheim	252x43x16	8200	24961	3540	90
23	Maersk Ngujima-Yin	261x58x23	7300	19078	2832	300
24	Glas dowr	242x42x15	4500	9539	2619	80

Преобладание FPSO судового типа над другими типами плавучих добывающих систем обусловлено тем, что данные платформы:

- Многофункциональны, обеспечивают добычу и переработку сырья, а также его хранение и отгрузку;
- имеют достаточные палубные площади для размещения технологического комплекса;
- обладают значительной грузоместимостью;
- пригодны для разработки глубоководных и отдаленных от берега нефтегазовых месторождений, где прокладка трубопровода весьма затруднительна;
- являются экономически эффективным решением для разработки небольших месторождений, так как при их разработке могут быть оперативно перемещены на другую точку эксплуатации;

- могут быть использованы в сочетании с другими техническими средствами (стационарной платформой, подводной инфраструктурой, TLP и т.д.) и поэтому гибко приспособляются к условиям новых месторождений при повторном использовании.

### 1.3 FPDSO судовой формы корпуса

Плавучие платформы для производства, бурения, хранения и отгрузки углеводородов (floating, production, drilling, storage and offloading - FPDSO) - это относительно новый тип средства освоения углеводородных месторождений. Необходимость в сочетании этих функций на одной технологической платформе вызвана экономическими причинами. Нефтегазодобывающие компании, чтобы сократить расходы связанные с установкой буровой платформы на месторождении, бурением, последующим снятием с системы удержания и установкой технологической платформы, пошли по пути соеди-



нения этих функций на одном объекте. Кроме того, в случае необходимости бурения дополнительных скважин в процессе разработки месторождения, потребности в буровых установках не возникает.

Несмотря на то, что концепция такой платформы была сформирована в начале 1990-х, реализация ее наступила только в 2008 году. Танкер класса VLCC «Fina Europe» был переоборудован на верфи Keppel Shipyard в первую платформу FPDSO Azurite. Технологический комплекс переоборудованной платформы обеспечивает переработку 10 тыс. м<sup>3</sup>/сутки пластового продукта, а объем нефтехранилища составляет 220 тыс. м<sup>3</sup>. В августе 2009 года платформа начала эксплуатацию на месторождении Azurite, западная Африка. Вторая реализация данной концепции платформа Dynamic Producer также является переоборудованным танкером (табл. 3) [7, 8].

Таблица 3

**Платформы FPDSO**

Название платформы	Год постройки/переоборудования	Габариты (LxВxТ)
Azurite	1988 / 2008	322x56x20
Dynamic Producer	1989 / 2009	257x46x10

Анализируя тот факт, что после начала эксплуатации первой платформы FPDSO, нет активного развития строительства подобных объектов, можно заключить, что с подобной концепцией имеются сложности. Размещение бурового комплекса на технологической платформе судовой формы корпуса негативно повлияет на основные аспекты проектирования платформы:

- увеличение массогабаритных размеров платформы и, как следствие, увеличение нагрузок от внешнего воздействия;
- массогабаритные характеристики повлияют на состав и характеристики системы удержания;

- исходя из расположения буровой вышки, корректируются основные решения по системе удержания, а именно: если ось буровой колонны не совпадает с осью вращения турели, на время бурения стоит предусматривать раскрепление якорной системой удержания без возможности вращения, что значительно увеличивает нагрузки на судно; в случае если ось буровой колонны совпадает с осью вращений турели, то серьезно увеличиваются взрывопожароопасность эксплуатации платформы по причине концентрации в зоне турельного устройства буровой колонны и продуктовых райзеров.

**1.4. FLNG судовой формы корпуса**

Концепция платформы FLNG судовой формы корпуса впервые сформулирована для Кенганского месторождения компаниями Moss Maritime и Kvaerner в 1979г. Однако, только 20 мая 2011г на заводе Samsung Heavy Industries был заложен корпус платформы FLNG Prelude с рекордными габаритными размерами. После этого состоялись закладки еще нескольких платформ, а в 2014г. спуск на воду первой платформы FLNG Caribbean (табл.4).

FLNG Caribbean – проект плавучей автономной технологической платформы для сжижения и отгрузки природного газа. Хотя ее в полной мере нельзя назвать платформой FLNG, поскольку непосредственно добыча на платформе не ведется. Подача газа будет вестись с берегового месторождения La Creciente по трубопроводу диаметром 18". Эксплуатироваться платформа будет на глубине 15м в 88 км от берега на шельфе Колумбии. Сама платформа имеет форму баржи, удерживаться на точке будет посредством швартовки к свайному причалу. Спуск на воду корпуса состоялся на верфи Wison Offshore & Marine Ltd, Китай (рис. 2). В настоящее время идет монтаж верхнего строения общим весом 5 тыс.т. [9].

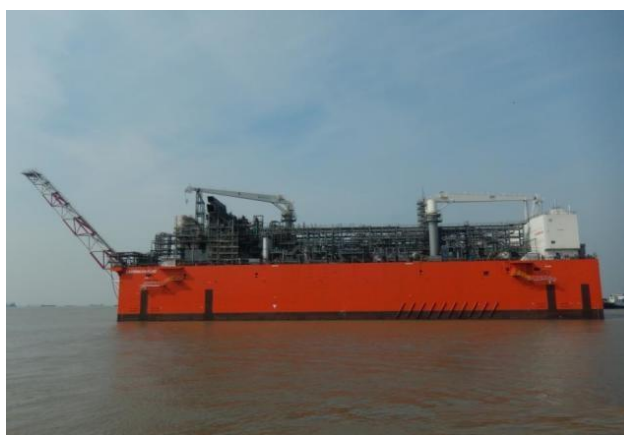


Рис. 2. FLNG Caribbean

Проект FLNG Prelude (рис.3) принадлежит компании Shell, которая получила лицензию на разработку одноименного месторождения австралийского шельфа. Первоначально разработку предполагалось вести береговым комплексом, но это решение не удалось согласовать по экологическим аспектам с правительством. Поэтому в 2009г в Shell разработали проект FLNG. Спуск на воду корпуса платформы состоялся 3 декабря 2013 года на верфи в Южной Корее. В настоящее время идет монтаж верхнего строения [10].



Рис. 3. FLNG Prelude

Технологический комплекс располагается на главной палубе и состоит из 14 независимых модулей массой около 5,5 - 6 тыс. т. каждый. Производительность платформы составляет:  
сжиженный природный газ - 3,6 млн. т/год;  
газовый конденсат - 1,3 млн.т./год;  
сжиженный нефтяной газ – 0,4 млн.т. /год.

Добытые углеводороды хранятся внутри корпуса в мембранных грузовых танках.

Платформа имеет турельное устройство расположенное в носовой части судна. Турель внутренняя, отсоединяемая. К нижней части турели в эксплуатации крепятся райзеры и система удержания (4 группы по 6 якорных линий в

каждой). Корпус и система удержания рассчитаны на циклоны 5 категории (скорость ветра до 78 м/с, высота волны до 20м по классификации для австралийского региона [11]). Платформа несамоходная, но для обеспечения динамического позиционирования имеются 3 водометных двигателя мощностью 6,7 тыс. л.с. каждый [12].

Для разработки месторождения Kapowit (шельф Малайзии, глубина воды 80 м) компания Petronas намерена использовать строящуюся платформу PFLNG-1 (рис.4). Основные характеристики платформы (табл.4) [13].



Рис. 4. PFLNG -1 Satu

Турель у платформы внешняя, отсоединяемая. В настоящее время идет установка верхнего строения на верфи в Южной Корее. Всего будет установлено 20 модулей общим весом 40 тыс. т. Производительность завода LNG составит 1,2 млн. т/год. Хранилище оборудовано мембранными танками.

Также Petronas разрабатывает проект PFLNG - 2 для месторождения Rotan. Предполагается что запуск второго плавучего завода LNG производительностью 1,5 млн. т/год состоится в 2018 году.

Таблица 4

Характеристики платформ FLNG

Характеристика	Размерность	Caribbean	Satu	Prelude
Длина	м	144	365	488
Ширина	м	32	60	74
Высота борта	м	20	33	50
Осадка	м	5,4	-	-
Водоизмещение порожнем	тыс. т.		125	260
Дедвейт	тыс. т.		85	600
Хранилище		тип С	мембранные танки	
LNG	тыс. м3	16,1	200	220
LPG		-	-	126
Конденсат		-	-	90
Вес верхнего строения	тыс. т.	5	40-	80

### 3. Многокорпусные платформы

#### 3.1. Общие сведения – полупогружные платформы

Плавающие полупогружные платформы представляют собой конструкцию, состоящую из водоизмещающих понтонов различной конфигурации, находящихся ниже поверхности воды, и надводного корпуса с производственными и жилыми помещениями, укрепленного на стабилизирующих колоннах, обеспечивающих остойчивость установки (рис.5). Наиболее распространены платформы с 4 или 6 стабилизирующими колоннами. Высота колонн должна обеспечивать в рабочем положении заглубление понтонов ниже поверхности взволнованного моря и клиренс, исключающий удары волн о верхнюю палубу. При четном числе колонн платформы, как правило, имеют место два параллельных понтона, при нечетном - под каждой колонной расположено по понтону. Для обеспечения общей прочности платформы понтоны, колонны и надводный корпус соединены системой горизонтальных и наклонных трубчатых раскосов. Конструкция подводной части должна обеспечивать минимальные нагрузки от волнения и течения, а конструкция надводной части - минимальные ветровые нагрузки. Диапазон глубин, на которых сейчас эксплуатируются полупогружные установки, составляет 120-2400м (табл.5) [14].

Все первые платформы этого типа были переоборудованы из полупогружных буровых установок. Первая полупогружная платформа, построенная по специальному заказу, была установлена в 1986 г. на месторождении Val-

moral на глубине 143 м в британском секторе Северного моря.

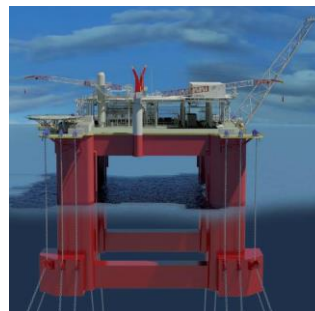


Рис. 5. Плавающая полупогружная платформа

Важная особенность полупогружных платформ и их системы удержания в том, что из-за их больших вертикальных и горизонтальных перемещений, чем у TLP и SPAR, они не подходят для надводного заканчивания скважин. Поэтому их эксплуатация связана с подводными добычными комплексами, а платформы оказались популярными особенно для Бразилии, где они доминируют во флоте добычных платформ компании Petrobras. Главная их преимущество - способность работать с большим количеством гибких райзеров и в этом они превосходят FPSO судового типа. Однако, в отличие от FPSO, полупогружные платформы не имеют хранилища. Продукция отгружается по трубопроводам на берег или на плавучее хранилище для перегрузки на челночный танкер.

Таблица 5

Характеристики полупогружных платформ

№	Название	Регион	Глубина воды, м	LxВxН, м	Водоизмещение, тыс. т	Масса верхнего строения, тыс. т	Производительность нефти, тыс. м. куб.
1	АН 001	Северное море	140	95x76x30	26,6	12,0	12,7
2	Asgard B		300	114x96x54	84,8	34,0	21,5
3	Atlantis	Мексиканский залив	2164	129x119x90	89,0	25,5	31,8
4	Balmoral	Северное море	143	103x126x58	31,0		9,5
5	Blind faith	Мексиканский залив	1981	-	40,0	9,6	7,2
6	Buchan A	Северное море	119	99x103x22	19,0		4,5
7	Gjoa		366	100x100x-	58,0	22,0	14,3
8	Helix producer I	Мексиканский залив	640	161x29x14	29,0	4,0	4,8
9	Independence hub		2408	71x71x49	46,0	10,2	0,0
10	Innovator		914	85x64x14	16,0	16,0	3,2

№	Название	Регион	Глубина воды, м	LxВxН, м	Водоизмещение, тыс. т	Масса верхнего строения, тыс. т	Производительность нефти, тыс. м. куб.
11	Janice	Северное море	80	-	-	-	8,7
12	Kristin		320	125x90x81	56,0	17,5	20,0
13	Moho/Bilondo	Западная Африка	620	188x34x12	0,0		14,3
14	Na kika	Мексиканский залив	1932	142x56	64,0	12,2	17,5
15	Nan hai tiaozhan	Желтое море	332	27x23x12	0,0		10,3
16	Njord A	Северное море	330	100x80	45,0		11,1
17	Northern producer		350	33x20x11	20,5	4,5	8,7
18	P-07	Шельф Бразилии	209	108x67x37	22,8		8,9
19	P-08		423	108x67x37	22,8		9,5
20	P-09		230	108x69x37	22,8		6,0
21	P-12		103	108x69x37	22,8		5,6
22	P-13		620	92x69x27	21,6		2,9
23	P-14		195	92x69x27	36,0		1,6
24	P-15		243	105x67x35	33,0		5,9
25	P-18		910	97x85x44	26,0		15,9
26	P-19		770	102x70x43	10,7		15,9
27	P-20		620	97x99x41	17,4		9,5
28	P-21		112	80x67x34	29,5		6,4
29	P-22		114	96x84x51	27,6		1,6
30	P-25		252	116x72x41	41,0		15,9
31	P-26		515	92x71x31	0,0		15,9
32	P-27		530	88x66x42	80,0		8,0
33	P-40		1080	124x84x40	80,0	23,9	23,9
34	P-51		373	110x90x64	56,0	24,7	28,6
35	P-52	1795	110x90x64	0,0	27,0	18,3	
36	Shorre B	Северное море	351		17,7		1,6
37	SS - 11	Шельф Бразилии	126	67x55x33	42,0		3,2
38	Tahara	Шельф Индии	82	106x117x45	130,0	9,3	9,5
39	Thunder hawk	Мексиканский залив	1844	71x71x52	188,0	50,5	39,8
40	Troll B	Северное море	320	102x102x40	43,4	18,9	30,2
41	Troll C		340	91x101x48	52,0		10,0
42	Veslefrikk B		175	108x79x49	17,6	25,2	15,9
43	Visund		335	121x101x48	19,3		6,4
44	Calait			94x71x40	24,2		6,4
45	Dai Hung I			108x67x37	0,0		9,5
46	Molly Brown			71x76x37	25,0		4,0



№	Название	Регион	Глубина воды, м	LxVxH, м	Водоизмещение, тыс. т	Масса верхнего строения, тыс. т	Производительность нефти, тыс. м. куб.
47	Cheviot	Северное море	120				9,5
48	Opti-Ex	Мексиканский залив		77x77x48			23,9
49	Cumusut	Малайский шельф	1189	80x80x-		18,7	
50	Jack	Мексиканский залив					28,6
51	P-55	Шельф Бразилии	1707	94x94x44			15,9
52	P-56		1700	110x125x-			

3.2. Общие сведения – платформы TLP

Технологическая платформа с натяжными связями (Tension Leg Platform - TLP) в классическом варианте представляет собой полупогружную платформу, удерживаемую на точке натяжными трубчатými стальными связями, которые прикреплены к свайным основаниям, заглублённым в морском дне. Натяжение, обеспеченное якорными связями TLP, очень эффективно ограничивает перемещение платформы [5, 14].

Платформы TLP подразделяются на два типа – традиционные (многоколонные) и TLP нового поколения (одноколонные, в форме буя) (рис. 6, табл. 6) [2].

Традиционные платформы по конструктивному типу являются полупогружными платформами, имеют 4-6 колонн, несущих верхнее строение и по четыре набора якорных связей. Эти конструкции могут нести тяжелые верхние строения, но являются более дорогостоящими, чем установки TLP нового поколения.

Развитие концепции TLP шло по пути создания вариантов TLP меньшего размера, так называемых mini-TLP, с целью снижения капитальных затрат при разработке небольших месторождений или месторождений с ограниченными запасами. Корпус таких платформ состоит из нижнего понтона и одной цилиндрической колонны, по которой проходит уровень ватерлинии. На вершине колонны располагаются палубы с оборудованием.

В отличие от FPSO, TLP не имеет хранилищ, и, следовательно, отгрузка происходит по трубопроводам. В регионах, испытывающих недостаток в трубопроводах и для месторождений, требующих интенсивного управления продуктивными пластами, операторы выбирают гибридную схему обустройства, при которой TLP поддерживается FPSO или FSO.

Концепция TLP оказалась особенно популярной в Мексиканском заливе, в этом регионе установлены 16 из 24 TLP, эксплуатирующихся в настоящее время.

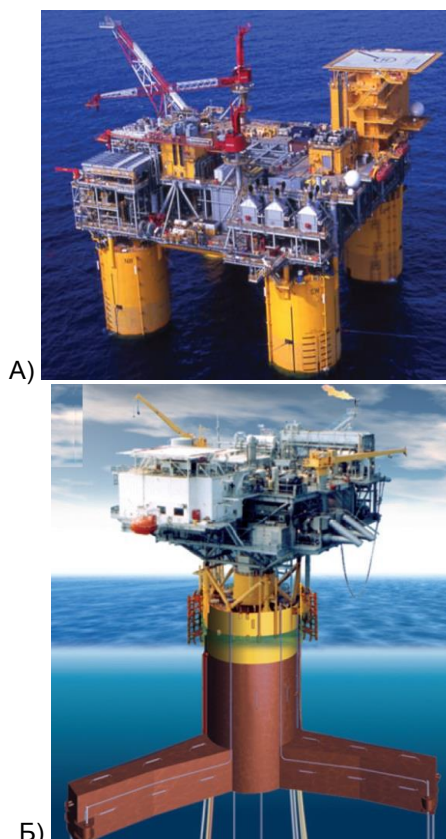


Рис. 6. А) традиционная платформа TLP Mag-nolia, Б) TLP нового поколения Morpeth

Характеристики платформ TLP

№	Тип	Название	Район добычи	Глубина воды, м	Количество колонн/ диаметр, (шт/м)	Вес ВС, т	Производительность	
							нефть м. куб./сут.	газ, тыс. м. куб./сут.
1	mini-TLP	Morpeh	Мексиканский залив	518	1/ 18	2816	6359	1416
2		Typhoon		639	1/ 18	-	6359	1699
3		Allegheny		1010	1/ 18	2780	3975	1274
4		Matterhorn		859	1/26	5569	5247	1557
5		Neptune		1280	1/23	6370	7949	1416
6	TLP	Magnolia	Мексиканский залив	1425	4/18	13861	6359	4248
7		Joilliet		536	4/12	1950	5565	1416
8		Auger		873	4/22,6	21772	16694	11893
9		Mars		894	4/22	6531	31797	5239
10		Ram/Powell		980	4/22	-	25438	5663
11		Ursa		1159	4/26	20320	23848	11327
12		Marlin		987	4/-	5000	6359	8495
13		Brutus		910	4/20	19958	20668	4248
14		Prince		454	4/7	3628	7949	2265
15		Shenzi		1333	4/10,4	8684	15899	1416
16		Marco Polo		1311	4/10	12500	19078	11327
17		Heidrun		345	4/31	89000	39747	170
18		Shore A		335	4/25	43700	57235	1019
19		Hutton		147	6/18	20792	19078	283
20	Kizomba A	1178	4/14	11600	39747	0		
21	Kizomba B	1178	4/14	-	39747	0		
22	West seno A	1021	4/10	-	5565	0		
23	Oveng	271	4/7,6	2250	3975	850		
24	Okume/Ebano	503	4/7,6	2250	3975	850		

#### 4. Платформы цилиндрической формы корпуса

##### 4.1. Платформы цилиндрической формы корпуса - общие сведения

Платформы цилиндрической формы, такие как BUOY и Spar имеют определенное преимущество над судовой формой корпуса. Величина нагрузки от внешних воздействий на цилиндрическую платформу, по сравнению с платформой судовой формы, не зависит от направления воздействия (рис. 7). По этой причине нет необходимости в турельном устройстве.

Платформы BUOY и Spar имеют цилиндрическую форму корпуса, но имеются принципиальные отличия. Высота корпуса платформы BUOY значительно меньше, чем у платформы Spar, а диаметр существенно больше [3].

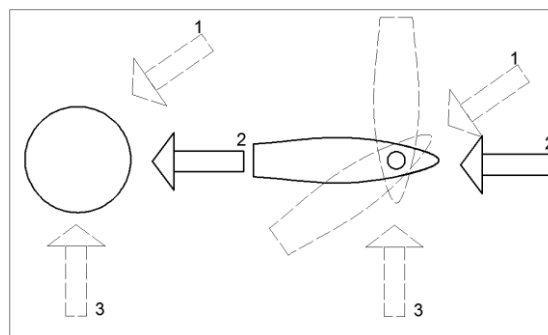


Рис. 7 – Преимущества платформ цилиндрической формы корпуса перед судовой формой корпуса (1,2,3 направления воздействия внешней среды)



4.2. Платформы Spar

Платформы типа Spar (англ. spar – рангоут, бревно) предназначены для бурения и добычи углеводородов на глубоководных акваториях. Базовая концепция Spar, применяющаяся с 1970-х годов, включает в себя цилиндрический корпус, несущий палубную конструкцию, на которой в дополнение к добычному оборудованию и жилым модулям, может также быть установлено буровое и/или ремонтное оборудование. Платформы типа Spar удерживаются на точке при помощи системы заякорения, состоящей из 6-20 линий. Каждая якорная линия крепится к морскому дну посредством сваи (рис.8) [5, 14].

Для платформ Spar характерным качеством является умеренная качка. Ввиду того, что скорость движения водных масс с увеличением глубины воды снижается, то даже значительное волнение оказывает меньшее влияние на поведение платформы, по сравнению с другими архитектурно - конструктивными типами. Добиться такого эффекта позволяет увеличенная осадка платформы и большая величина смоченной поверхности.

К достоинствам платформ типа Spar относятся:

- меньшая качка по сравнению с полупогружными платформами и FPSO судового типа;
- концепция Spar позволяет использовать надводную фонтанную арматуру на палубе, обеспечивая прямой доступ к скважине для её обслуживания и капитального ремонта;
- корпус Spar поддерживает и защищает райзеры от воздействия волн и течений на протяжении 200-250 м под поверхностью моря.

В большинстве случаев конструкция платформ Spar не предполагает наличия хранилища в корпусе платформы. В тоже время, на месторождении Brent (Северное море) с 1976 по 1998 год эксплуатировалась плавучее хранилище Brent E (другое название Brent Spar), которая имеет классическую конструкцию Spar (табл. 7) [15].

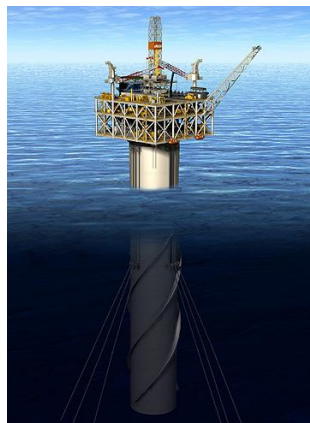


Рис. 8. Пример платформы типа Spar

В большинстве случаев конструкция платформ Spar не предполагает наличия хранилища в корпусе платформы. В тоже время, на месторождении Brent (Северное море) с 1976 по 1998 год эксплуатировалась плавучее хранилище Brent E (другое название Brent Spar), которая имеет классическую конструкцию Spar (табл. 7) [15].

Таблица 7

Характеристики FSO Brent E

Характеристика	Размерность	Значение
Диаметр корпуса	м	29
Высота корпуса	м	147
Водоизмещение	т	66 000
Вместимость хранилища	т	50 000

Также разработку газового месторождения Aasta Hansteen в Норвежском море предполагается вести посредством одноименной платформы Spar. Платформа Aasta Hansteen будет выполнять функции по добыче, переработка добытого газа и конденсата, хранению в корпусе и отгрузке конденсата. Отгрузка газа будет вестись по трубопроводам на берег, удаленность от которого составляет 300км. Намеченный срок начала эксплуатации 2017г.

В настоящее время эксплуатируются 18 Spar: Все, за исключением платформы Kiken, находятся в Мексиканском заливе. В будущем Spar Aasta Hansteen будет первой подобной платформой в арктических водах (табл. 8) [2].

Таблица 8

Характеристики платформ Spar

№	Название	Глубина установки, м	Диаметр корпуса, м	Высота корпуса, м	Осадка, м	Вес ВС, т	Производительность	
							нефть м <sup>3</sup> /сут.	газ, тыс. м <sup>3</sup> /сут.
1	Neptune	588	21,9	215	198	2903	5565	1699
2	Medusa	678	28,6	178,6	163	5443	6359	3115

№	Название	Глубина установки, м	Диаметр корпуса, м	Высота корпуса, м	Осадка, м	Вес ВС, т	Производительность	
							нефть м <sup>3</sup> /сут.	газ, тыс. м <sup>3</sup> /сут.
3	Genesis	792	37,2	215	198	11340	8744	2039
4	Gunnison	960	30	167	152	5171	6359	5663
5	Front runner	1015	28,6	179	-	-	9539	3115
6	Boomvang	1052	27,4	165,5	150	4889	6359	5663
7	Nansen	1121	27,4	165,5	150	4844	6359	5663
8	ATP Titan	1219	16	148	133	9091	3975	2832
9	Tahiti	1250	39	169	152	18950	19873	1982
10	Aasta Hansteen <sup>(1)</sup>	1300	50	196	175	2100	14309	651
11	Holstein	1324	45,5	227	210	15766	17489	4248
12	Kiken <sup>(2)</sup>	1330	32,3	141,7	131	5428	-	-
13	Mad dog	1347	39	169	153	-	12719	1699
14	Hoover	1463	37	214	198	15613	15899	9203
15	Constitution	1515	30	169	154	5320	11129	5663
16	Red hawk	1615	19,5	170	158	3357	-	3398
17	Horn mountain	1653	32,3	169	153	3991	10334	1926
18	Devils tower	1710	29	178	163	3456	9539	3115
19	Lucius	2173	33,5	184	167,6	14515	12719	12743
20	Perdido	2383	36	170	153	11250	15899	5663

<sup>(1)</sup> – эксплуатация в Норвежском море

<sup>(2)</sup> – эксплуатация на шельфе Малайзии

#### 4.3. Платформы типа BUOY

В настоящее время практическую реализацию получили добычные платформы Sevan Marine. По проектам компании построены и эксплуатируются 5 платформы FPSO (табл. 8), а также 4 буровые платформы и 2 платформы-спутника для размещения персонала.

Первой добычной платформой с формой корпуса типа BUOY является платформа FPSO Piranema Spirit. Ее эксплуатация началась на шельфе Бразилии в 2007г месторождение Piranema, глубина моря 1600м. Затем последовали запуски в 2008 и 2009 годах платформ FPSO Hummingbird Spirit и Voyageur Spirit соответственно (табл.9).

Во всех корпусах платформ Sevan применяются решения, которые описаны в норвежском патенте № 319.971. Патент № 319.971 - это патент на платформу для бурения и/или добычи углеводородов. Корпус такой платформы разработан в форме вертикального цилиндра с плоским днищем. В сечении по диаметральной плоскости в корпусе платформы можно выделить 3 секции (рис. 9):

1. Нижняя секция, диаметр (резко или постепенно) уменьшается по направлению вверх.
2. Средняя секция, цилиндрическая часть.
3. Верхняя секция, диаметр увеличивается по направлению вверх.

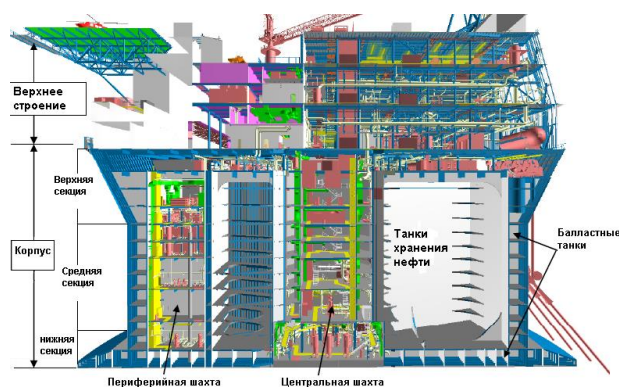


Рис. 9. Секции корпуса платформы

Корпус платформ Sevan имеет двойные борты и двойное дно. Это обеспечивает экологическую безопасность эксплуатации платформ. В корпусе предусмотрена центральная райзерная шахта, которую окружают грузовые танки объемом от 40 до 160тыс.м<sup>3</sup>. Кроме того, на платформах имеются дополнительные периферийные шахты для удобства обслуживания грузовых танков. Танки хранения нефти, ограниченные настилом второго дна и верхней палубой, разделены радиальными и круговыми переборками на отсеки, для минимизации влияния свободной поверхности на остойчивость. Все

платформы имеют цистерны жидкого балласта. Балластные танки располагаются в двойных бортах и втором дне.

Такие платформы имеют следующие положительные характеристики:

- независимость от направления внешнего воздействия;
- значительную площадь палубы для размещения технологического комплекса;

- низкие показатели качки;
- самостоятельное маневрирование и динамическое позиционирование при наличии движительно-рулевого комплекса;
- возможность организации хранения добытого продукта в корпусе;
- относительную простоту постройки.

Таблица 9

Платформы FPSO типа BUOY

Характеристики	Платформа				
	Название платформы	Piranema Spirit	Hummingbird Spirit	Voyageur Spirit	Western Isles
Район эксплуатации	Шельф Бразилии, Атлантический океан	Северное море			Баренцево море
Глубина моря, м	до 1600	120	120	170	380
Количество якорных линий	9	12	12	10	14
Диаметр по ватерлинии, м	60	60	60	60	90
Высота корпуса, м	31	31	31	31	49
Осадка (грузовая), м	18	18	18	18	30
Осадка (порожнем), м	13	13	13	13	20
Водоизмещение, тыс. т	55	55	55	55	210
Объем нефтехранилища, тыс. м <sup>3</sup>	40	43	43	43	160
Площадь палубы м <sup>2</sup>	2800	3200	3200	3200	9000
Диаметр, м	64,3	66	66	66	107
Персонал, чел.	63	44	54	-	-

### Заключение

Анализируя мировой флот технологических платформ, можно заключить, что наиболее распространенным типом технологических платформ являются платформы FPSO (рис. 10). Это можно объяснить их многофункциональностью и мобильностью, а также возможностью работать в широком диапазоне глубин моря. Чаще всего среди технологических платформ встречается судовая форма корпуса и многоколонная.

Также можно отметить, что с развитием технологий в области систем удержания отмечается рост глубин моря в точках установки платформ, а основными районами эксплуатации являются Мексиканский залив, Северное море, Атлантический шельф Бразилии и Гвинейский залив.

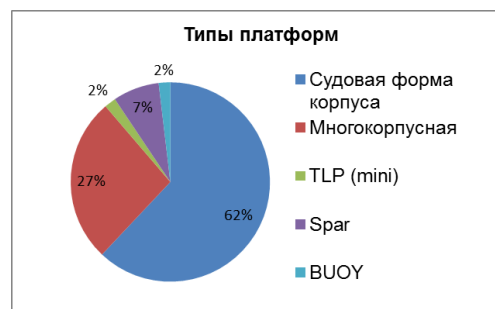
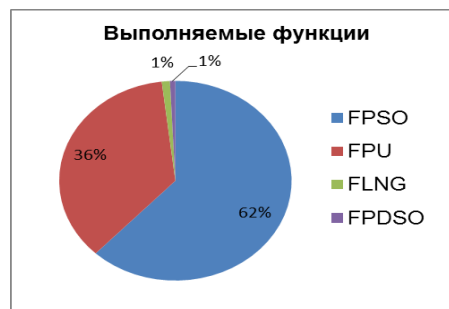


Рис. 10. Состав флота технологических платформ

**Литература**

1. <http://workboatsinternational.com>.
2. <http://www.offshore-mag.com>.
3. <http://www.sevanmarine.com>.
4. Р.Н. Караев, А.С. Портной, В.Н. Разуваев. Суда и плавучие технические средства для освоения морских месторождений, «Моринтех», Санкт-Петербург, 2009.
5. J.K. Paik, A.K. Thayamballi, Ship Shaped Offshore Instalations, 2007г.
6. [www.hse.gov.co.uk](http://www.hse.gov.co.uk), Information on specific UK and North Sea FPSO and FSU Installations, 2001г.
7. <https://exchange.dnv.com>.
8. <http://www.rigzone.com>.
9. <http://bv.com/Projects/exmar-floating-lng-liquefaction-unit>.
10. <http://www.shell.com>.
11. <http://www.bom.gov.au/cyclone/about/>
12. Популярная механика, №6 (140), 2014г.
13. <http://www.ship-technology.com>.
14. S.K. Chakrabarti, Handbook of offshore engineering, part 1, 2005г.
15. [http://en.wikipedia.org/wiki/Brent\\_Spar](http://en.wikipedia.org/wiki/Brent_Spar).

**References**

1. <http://workboatsinternational.com>.
2. <http://www.offshore-mag.com>.
3. <http://www.sevanmarine.com>.
4. R.N. Karaev, A.S. Portnoj, V.N. Razuvaev. Suda i plavuchie tehicheskie sredstva dlja osvoenija morskikh mestorozhdenij, «Morinteh», Sankt-Peterburg, 2009.
5. J.K. Paik, A.K. Thayamballi, Ship Shaped Offshore Instalations, 2007g.
6. [www.hse.gov.co.uk](http://www.hse.gov.co.uk), Information on specific UK and North Sea FPSO and FSU Installations, 2001g.
7. <https://exchange.dnv.com>.
8. <http://www.rigzone.com>.
9. <http://bv.com/Projects/exmar-floating-lng-liquefaction-unit>.
10. <http://www.shell.com>.
11. <http://www.bom.gov.au/cyclone/about/>
12. Populjarnaja mehanika, №6 (140), 2014g
13. <http://www.ship-technology.com>.
14. S.K. Chakrabarti, Handbook of offshore engineering, part 1, 2005g.
15. [http://en.wikipedia.org/wiki/Brent\\_Spar](http://en.wikipedia.org/wiki/Brent_Spar).

УДК 517.977.58

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОПТИМАЛЬНОЙ РАССТАНОВКИ СУДОВ ПО РАЙОНАМ ПРОМЫСЛА

**Николаев Александр Андреевич**

аспирант кафедры высшей математики и программного обеспечения ЭВМ

Мурманский государственный технический университет

183010, г. Мурманск, ул. Спортивная 13

e-mail: nikolayev.alex@ya.ru

### Аннотация

В работе предлагается математический аппарат решения задачи расстановки рыбодобывающих судов по районам промысла.

Необходимость в реализации и интеграции мощного инструмента планирования работы рыбопромыслового флота в работу отдела эксплуатации флота является предпосылкой изучения данного вопроса.

Работа в данном направлении велась с 70-х годов двадцатого века, но по разным причинам не привела к однозначному результату и не нашла практического применения в производстве.

На основе анализа предметной области управления рыбопромысловым флотом были выделены основные входные параметры, ограничения, условия работы флота и критерии оценки результатов планирования. В ходе исследования выявлено, что решение данного вопроса возможно только на основе системного анализа, позволяющего объединить все рыбодобывающие суда региона с одной целью – максимизации результатов работы системы промыслового флота, при условии наиболее эффективного использования всех видов ресурсов.

Точность и надежность данных исследования напрямую связана со стохастичностью промыслового процесса и наличием спрогнозированных входных данных. Предлагаемый математический аппарат позволяет эффективно и с предельной точностью решать поставленную задачу управления.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, рыбопромысловая деятельность, оптимальное управление, принятие решений, расстановка флота

## DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL TOOL FOR OPTIMUM ARRANGEMENT OF VESSELS IN FISHING AREAS

**Nikolaev Alexandr Andreevich,**

postgraduate student of the Department of mathematics and computer software,

Murmansk State Technical University

Sportivnaya, 13, Murmansk, 183010 Russian Federation

e-mail: nikolayev.alex@ya.ru

### Abstract

In this article is offered the mathematical tool for solving the problem of arrangement on fishing vessels in the fishing areas.

The need to implement and integrate a powerful tool for planning the fishing fleet in the work of the Operations Department is a prerequisite for the study of this issue. The work was conducted in this direction since the 70 years of the twentieth century, but did not lead to unambiguous results and has not found practical application in production for various reasons.

The main input parameters, restrictions, conditions of service and fleet planning evaluation criteria were identified based on the analysis domain management fishing fleet.

The study found that the solution to this problem is possible only on the basis of systematic analysis to combine all fishing vessels in the region with one purpose - to maximize the performance of the fishing fleet, provided the most efficient use of all resources.

The accuracy and reliability of the research data is directly related to fishing scholastic process and predicted the existence of the input data.

The offered mathematical tool allows effectively and to solve an objective of management with limit accuracy.

**Key words:** mathematical modeling, fishing activity, optimal control, adoption decisions, arrangement of fleet

### Введение

Промышленное рыболовство занимает особое место в истории многих государств мира. В настоящее время процессы, протекающие в промышленном рыболовстве, тесно связаны с уровнем экономического роста страны, ее политическим устройством, и напрямую зависят от геополитических амбиций государства.

Важнейшие проблемы управления рыболовством в Северном бассейне, как, впрочем, и в других, связаны с оценкой запасов, допустимой интенсивности и селективности лова, совершенствованием правил регулирования рыболовства. Создана отраслевая система мониторинга ВБР, наблюдения и контроля за деятельностью рыболовных судов.

- Эффективность промысла в значительной мере определяется сложившейся промысловой обстановкой, но ее мы изменять пока не умеем, и управлять ее состоянием не можем [2]. Следователно, центр тяжести в решении возникшей проблемы лежит в оптимизации управления самим промысловым процессом. Но своеобразие промысла как производственного процесса определяет большое количество возможных задач управления этим процессом. Многообразие задач требует разработки различных методов их решения.
- Эффективность и оптимальное функционирование данной системы обеспечивается комплексом организационно-управленческих подходов, основанных на принципах рациональной эксплуатации водных биоресурсов и на системном управлении процессами лова. В этой связи основной задачей науки и практики современного промышленного рыболовства является совершенствование систем управления процессом лова, режимов работы рыбопромысловых судов во взаимосвязи с планированием и организацией рыбопромысловой деятельности, а также оценкой ее экономической эффективности. [5]
- Рыбопромысловая деятельность как процесс производства имеет свои особенности, мешающие эффективно и оперативно эксплуатировать промысловый флот:

- Разбросанность районов промыслов в различных частях бассейна;
- Удаленность из друг от друга и портов базирования;
- Изменчивость, подвижность и неустойчивость сырьевых ресурсов.

В связи с усложненными условиями промысла и значительным ростом затрат на добычу рыбы и производство продукции в настоящее время требуется особая гибкость и оперативность в решении промысловых и управленческих задач, которое должно осуществляться на научной основе с целью повышения эффективности эксплуатации ресурсов. Совершенствование управления, применение научных методов позволяет получать значительный экономический и производственный эффект без дополнительных затрат.

### 1. Адаптивное управление рыбопромысловым флотом

Проанализировав процесс расстановки рыбопромысловых судов, оценив входные параметры, стохастичность всего производственного процесса, предлагается реализовать оптимальное и гибкое планирование, при соблюдении всех условий путем применения математических методов и электронно-вычислительной техники.

Сегодня, руководству рыбопромыслового флота, не имея под рукой эффективного инструмента, приходится управлять системой рыбодобывающих судов пользуясь, исключительно опытом прошлых лет, причем не всегда успешным.

При планировании работы рыбопромыслового флота необходимо учитывать ряд факторов, на которые повлиять невозможно: промысловая обстановка в районах, погодные условия и т.п. [1] Сейчас же результаты прогнозов точны с погрешностью, которой можно пренебречь при поиске оптимального плана расстановки судов. В то же время полностью игнорировать нельзя.

В сложившихся экономико-хозяйственных отношениях каждое предприятие любой отрасли стремится максимизировать прибыль за счет различных изменений в производстве, например снижения уровня затрат. В случае с промышленным рыболовством, где, как уже оговаривалось, трудно, а зачастую невозможно, влиять на внешние факторы производства, необходимо оптимизировать имеющийся технологический процесс управления флотом. [4] Целью этой оптимизации



является минимизация расходов на добычу ВБР, что можно достичь путем рационального распределения производственных мощностей и эффективной реализации вылова.

Таким образом, общая оптимизационная модель планирования работы рыбопромыслового флота сводится к обеспечению решения следующих основных задач. Во-первых, освоение предоставленных запасов рыбы в рамках квоты рыбопромышленными предприятиями; во-вторых, сдачу ВБР в установленные порты для последующей их реализации; в-третьих, получение минимума эксплуатационных расходов суммарно по флоту; с учетом прогнозов возможных годовых выловов рыбы, использования рыбодобывающих судов, объема вылова отдельных видов рыбы.

1.1 Постановка задачи расстановки рыбопромысловых судов по районам добычи

Существуют  $i$ -ые ( $i$  – индекс района промысла,  $i=1,2...N$ ) районы промысла, в которых осуществляется вылов  $z$ -ых ( $z$  – индекс вида рыбы,  $z=1,2...R$ ) видов рыбы. Для каждого района известен прогноз о концентрации каждого  $z$ -го вида рыбы в  $i$ -ых районах,  $P_{iz}^z$ , в  $p$ -ые периоды ( $p$  – индекс расчетного периода,  $p=1,2...W$ )

Выловленная рыба подлежит сдаче в  $h$ -ые ( $h$  – индекс портов,  $h=1,2...Q$ ) порты. Заранее известно расстояние,  $L_{hi}$ , между каждым портом и районами. Для каждого  $h$ -го порта экономическим отделом устанавливается норма сдачи отдельных  $z$ -ых видов водных биологических ресурсов (ВБР) в  $p$ -ые расчетные периоды,  $V_{hz}^p$ .

Перед  $k$ -ми ( $k$  – индекс предприятия,  $k=1,2...L$ ) рыбодобывающими предприятиями ставится задача наиболее оптимально организовать свои ресурсы для добычи и транспортировки  $z$ -ых видов ВБР  $X_{hi}^p$ ,  $m$ ., в предписанные порты в рамках назначенных квот на вылов  $z$ -ых видов рыбы, по каждому  $i$ -му району в пределах  $p$ -го расчетного периода,  $Y_{zk}^{ip}$ ,  $m$ ., форма работы флота – автономная.

Для каждого  $s$ -го судна известен промысловый период: как правило, это календарный год, за вычетом времени на межрейсовое обслуживание, время на смену экипажа и т.п. Основной задачей разрабатываемой модели является планирование расстановки судов в рамках расчетного периода,  $p$ , сум.: год, квартал, месяц и т.п.

Для каждого  $s$ -го судна индивидуально известны такие параметры как:

- Время на межрейсовое обслуживание  $s$ -го судна,  $T_{MRTOs}^p$ ;
- Себестоимость содержания  $s$ -го судна на переходе из  $h$ -го порта в  $i$ -ый район промысла в пределах  $p$ -го периода,  $C_{move_s}^{hip}$ , на промысле при

работе в  $i$ -ом районе,  $C_{fish_s}^{hip}$ , и стоянке при разгрузке в  $h$ -ом порту,  $C_{harb_s}^{hip}$ ;

- Среднее время на портовые работы  $s$ -го судна в  $h$ -ом порту,  $T_{harb_s}^{hp}$ ;
- Суточный вылов  $z$ -го вида рыбы  $s$ -ым судном в  $i$ -ом районе в пределах  $p$ -го периода,  $P_{zs}^{ip}$ ;
- Среднеэксплуатационная скорость  $s$ -го судна в грузу и порожнем,  $V_{oper_s}$ .
- Время автономной работы  $s$ -го судна в  $i$ -ом районе промысла в  $p$ -расчетном периоде,  $T_{auto_s}^{ip}$ ;
- Количество суток незадействованных  $s$ -ым судном в прошлом расчетном периоде,  $T_s^{p'}$ ;
- Допустимое время работы  $s$ -го судна в  $i$ -ом районе,  $T_{use_s}^{ip}$ ;
- Норма вылова в сутки для  $s$ -го судна каждого  $z$ -го вида рыбы в  $i$ -ом районе промысла в рамках  $p$ -го периода,  $N_{zs}^{ip}$ ;
- Вместимость трюмов  $s$ -го судна по  $z$ -ым видам продукции,  $V_{s_z}$ .

Общий алгоритм решения задачи расстановки рыбопромысловых судов с применением математической модели представляет собой следующую последовательность действий:

- Задается расчетный период,  $p$ ;
- Корректируются данные о прогнозе по каждому  $i$ -му району и планируемый объем сдачи ВБР в  $h$ -ые порты по заданному  $p$ -му периоду;
- Реализуется поиск наиболее оптимального плана доставки, с точки зрения транспортных переходов;
- Расстановка флота по районам;
- Расчет эксплуатационных параметров  $s$ -ых судов при работе в каждом  $i$ -ом районе;
- На основании полученных данных осуществить поиск наиболее оптимального плана расстановки судов по районам работы с учетом квот, норм вылова судов, плановых параметров, технических возможностей, с целью минимизировать флота.

1.2 Математическая модель решения задачи

Поиск оптимального плана транспортировки ВБР из  $i$ -ых районов вылова в  $h$ -ые порты в пределах  $p$ -го периода.

Технические затраты на транспортировку всех  $z$ -ых видов ВБР из  $i$ -го района в  $h$ -ый порт должны быть минимальны, тогда целевая функция  $F$  тыс.  $m \cdot km$ , описывающая задачу определения линий добычи ВБР, имеет вид:

$$F^p = \sum_{i=1}^n \sum_{h=1}^q (L_{hi} \cdot \sum_{z=1}^r x_{hi_z}^p) \rightarrow \min,$$

Где:  $L_{hi}$  – расстояние из  $h$ -го порта в  $i$ -ый район вылова и обратно, км.;

$x_{hi_z}^p$  – количество ВБР  $z$ -го вида, подлежащего вылову и доставке из  $i$ -го района добычи в  $h$ -ый порт т., за  $p$ -ый период, тыс. т.;

$$h=1,2,\dots,q;$$

$$i=1,2,\dots,n;$$

$$p=1,2,\dots,w;$$

$$z=1,2,\dots,r.$$

Объем выловленной рыбы может быть равен или больше показателя нормы сдачи, установленной для порта, а также, не может быть больше прогнозируемого количества ВБР в районе. Следовательно, система ограничений имеет вид:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{z=1}^r x_{hi_z}^p \geq \sum_{z=1}^r V_{h_z}^p, \\ \sum_{h=1}^q \sum_{z=1}^r x_{hi_z}^p \leq \sum_{z=1}^r P_{i_z}^p, \\ x_{hi_z}^p \geq 0. \end{cases}$$

где  $V_{h_z}^p$  – планируемый объем сдачи  $z$ -го вида ВБР в  $h$ -ый порт в  $p$ -ом периоде;

$P_{i_z}^p$  – количественный прогноз о состоянии  $z$ -го вида ВБР в  $i$ -ом районе в  $p$ -ый период.

Определение технико-эксплуатационных показателей работы  $s$ -го судна в  $i$ -ых районах добычи ВБР.

1. Общее время работы  $s$ -го судна в  $p$ -ом расчетном периоде,  $T_{work_s}^p$ , сум., находится по формуле:

$$T_{work_s}^p = T_s^p + T_s^{p'} - T_{MRTO_s}^p - T_{other_s}^p,$$

Где,  $T_s^p$  – количество суток в  $p$ -ом расчетном периоде для  $s$ -го судна;

$T_s^{p'}$  – количество суток оставшихся в прошлом периоде работы,  $(p-1)$ , для  $s$ -го судна.

2. Время перехода из  $h$ -го порта в  $i$ -ый район промысла и обратно в  $p$ -ом расчетном периоде,  $T_{move_s}^{ip}$ , сум., определяется по формуле:

$$T_{move_s}^{ip} = \frac{L_{hi}}{24 \cdot V_{oper_s}}$$

3. Для определения времени работы  $s$ -го судна направленной, непосредственно, на вылов ВБР в  $i$ -ом районе промысла,  $T_{fish_s}^{ip}$ , сум., воспользуемся следующей формулой:

$$T_{fish_s}^{ip} = \frac{V_{s_s}}{\sum_{z=1}^r P_{z_s}^{ip}},$$

4. Время одного рейса  $s$ -го судна в  $i$ -ый район добычи за  $p$ -ый период,  $T_{reis_s}^{ip}$  сум., вычисляется по формуле:

$$T_{reis_s}^{ip} = T_{fish_s}^{ip} + T_{move_s}^{ip} + T_{harb_s}^{ip}.$$

5. Общее количество выловленных  $z$ -ых видов ВБР  $s$ -ым судном в  $i$ -ом районе за один рейс в рамках  $p$ -го расчетного периода,  $A_{reis_s}^{ip}$  м., равняется:

$$A_{reis_s}^{ip} = \sum P_{z_s}^{ip} \cdot T_{fish_s}^{ip}.$$

6. Количество вылова  $z$ -го вида рыбы  $s$ -ым судном в  $i$ -ом районе за один рейс в рамках  $p$ -го расчетного периода,  $A_{z_s}^{ip}$ , м., равняется:

$$A_{z_s}^{ip} = P_{z_s}^{ip} \cdot T_{fish_s}^{ip}$$

7. Коэффициенты временных затрат на переход из  $h$ -го порта в  $i$ -ый район промысла,  $k_{move_s}^{hip}$ , на работу на промысле в  $i$ -ом районе за  $p$ -ый период,  $k_{fish_s}^{ip}$ , на стоянку в  $h$ -ом порту разгрузки в  $p$ -ом периоде,  $k_{harb_s}^{hp}$ , определяются по следующим формулам:

$$k_{move_s}^{hip} = \frac{T_{reis_s}^{ip}}{T_{move_s}^{ip}}.$$

$$k_{move_s}^{hip} = \frac{T_{reis_s}^{ip}}{T_{fish_s}^{ip}}.$$

$$k_{move_s}^{hip} = \frac{T_{reis_s}^{ip}}{T_{harb_s}^{ip}}.$$

8. Среднесуточные эксплуатационные расходы за рейс по судну  $s$ -го типа при работе в  $i$ -ом районе в рамках  $p$ -го расчетного периода,  $E_{daily_s}^{ip}$ , руб., рассчитываются по формуле:

$$E_{daily_s}^{ip} = k_{move_s}^{hip} \cdot c_{move_s}^{hip} + k_{fish_s}^{ip} \cdot c_{fish_s}^{ip} + k_{harb_s}^{hp} \cdot c_{harb_s}^{hp}$$

9. Максимальное возможное количество рейсов,  $K_{reis_s}^{ip}$   $s$ -го судна в  $i$ -ый района промысла в пределах  $p$ -го периода равняется:

$$K_{reis_s}^{ip} = \frac{T_{work_s}^p}{T_{reis_s}^{ip}}$$

10. Для планирования работы в следующем периоде необходимо просчитать весь ли время судно отрабатывает в данном периоде, если нет – сколько осталось суток для данного судна,  $T_s^p$ :

$$T_s^p = T_{work_s}^p - \sum_{i=1}^n (K_{reis_s}^{ip} \cdot T_{reis_s}^{ip})$$

Известно, что максимизация прибыли рыбопромыслового флота, осуществляется за счет уменьшения затрат на их основную деятельность [3].

Рассчитав эксплуатационные расходы каждого судна в периоде и зная время показатели работы одного рейса следует определить количество таких рейсов,  $K_{reis_s}^{ip}$ , для  $s$ -ых судов в  $i$ -ые районы добычи с целью минимизировать расходы всего флота, но при этом реализовать спланированный вылов каждого вида рыбы,  $X_{hi_z}^p$ , согласно установленным ограничениям.

Следовательно, целевая функция  $Z$ , характеризующая задачу расстановки флота, будет иметь следующий вид:

$$Z^p = \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^m E_{daily_s}^{ip} \cdot K_{reis_s}^{ip} \cdot T_{reis_s}^{ip} \rightarrow \min,$$

$$s=1,2,\dots,m;$$

$$i=1,2,\dots,n.$$

Суммарное время рейсов  $s$ -го судна в  $i$ -ый район в пределах  $p$ -го периода не должно пре-

вышать общее допустимое время работы в заданном в  $i$ -ом районе:

$$(K_{reis_s}^{ip} \cdot T_{reis_s}^{ip}) \leq T_{use_s}^{ip}$$

Суммарный вылов всеми  $s$ -ми судами в  $i$ -ом районе по каждому  $z$ -му виду рыбы в рамках  $p$ -го периода должен быть максимально близок к оптимальному количеству:

$$\sum_{s=1}^m (A_{z_s}^{ip} \cdot K_{reis_s}^{ip}) \approx X_{hi_z}^p$$

Каждое  $s$ -ое судно имеет суточные нормы предельно допустимого количества вылова  $z$ -ых видов рыбы в  $i$ -ом районе в  $p$ -ом периоде,  $N_{z_s}^{ip}$ ,  $m/cум.$ , следовательно суточная норма вылова  $s$ -го судна не должна превышать эту норму:

$$P_{z_s}^{ip} \leq N_{z_s}^{ip}$$

Условия квотирования таковы, что между  $k$ -ми рыбодобывающими предприятиями определяется максимально допустимый вылов каждого  $z$ -го вида рыбы в каждом  $i$ -ом районе в пределах  $p$ -го периода, следовательно, ограничение на вылов  $s$ -ми судами  $k$ -го предприятия по видам рыбы имеет вид:

$$\sum_{s=1}^m A_{z_s(k)}^{ip} \leq Y_{z_k}^{ip}$$

Учитывая организацию работы (автономная) время каждого рейса  $s$ -го судна не может быть больше времени его автономности:

$$T_{reis_s}^{ip} \leq T_{auto_s}^{ip}$$

### Заключение

Представленная методика показывает возможность реализации оптимизационных расчетов в рыбопромысловой деятельности с учетом всех основных особенностей процесса и ограничений.

Разработанные модели могут найти практическое применение при выборе оптимальных схем работы рыбодобывающих предприятий, являются основой для проектирования системы поддержки принятия решений для специалистов эксплуатационного отдела флота

### Литература

1. Козин М.А. Научная концепция управления. Рыбное хозяйство, 1992г. №1. С. 18-20.
2. Лисенко С.В. Организация и планирование промышленного рыболовства. М.: МОРКНИГА, 2012г. С. 235.
3. Дверник А.В. Технология и управление промышленным рыболовством. М.: МОРКНИГА, 2013г. С. 318.
4. Лернер А.Я. Начала кибернетики. М.: Наука 1967. С.400.
5. Андреев М.Н. Студенецкий С.А. Оптимальное управление на промысле М.: Пищевая промышленность, 1975г. С.288.
6. Мельников В.Н. Совершенствование общей теории промышленного рыболовства //Вестник АГТУ, Серия: Рыбное хозяйство. 2010г. №1.

### Reference

1. Kozin M.A. Nauchnaya kontseptsiya upravleniya. Rybnoe khozyaystvo, 1992g. №1. S. 18-20.

2. Lisenko S.V. Organizatsiya i planirovanie promyshlennogo rybolovstva. M.: MORKNIGA, 2012g. S. 235.
3. Dvernik A.V. Tekhnologiya i upravlenie promyshlennym rybolovstvom. M.: MORKNIGA, 2013g. S. 318.
4. Lerner A.Ya. Nachala kibernetiki. M.: Nauka 1967. S.400.
5. Andreev M.N. Studenetskiy S.A. Optimal'noe upravlenie na promysle M.: Pishchevaya promyshlennost', 1975g. С.288.
6. Mel'nikov V.N. Sovershenstvovanie obshchey teorii promyshlennogo rybolovstva, Vestnik AGTU, Seriya: Rybnoe khozyaystvo. 2010g. №1.

УДК 004.942:004.031.043

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОРСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ

Нечаев Юрий Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники и информационных технологий  
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет  
190008, Санкт-Петербург, Лоцманская, 3.

### Аннотация

Обсуждаются теоретические аспекты использования динамической модели катастроф в системе исследовательского проектирования морских динамических объектов. Основное внимание уделяется интерпретации проектных решений в сложной динамической среде на основе фрактальных отображений, синергетической теории управления и нейронечеткого и нейроэволюционного моделирования.

Структурный и параметрический синтез моделей проблемной области на основе динамической теории катастроф реализуется на базе комплексной онтологии, модификация которой осуществляется с помощью метаонтологии и принципа адаптивного резонанса, позволяющих осуществлять перестройку логики функционирования системы в зависимости от особенностей динамики взаимодействия.

Динамический синтез структуры управления и принятия решений на основе динамической модели катастроф позволяет рационально организовать структурные исследования и построить процесс создания новой техники и технологий на основе интерактивного взаимодействия разработчика с интеллектуальной системой в процессе решения выделенных классов задач исследовательского проектирования.

**Ключевые слова:** теория катастроф, исследовательское проектирование, динамическая система, нейронечеткое моделирование, нейроэволюционное моделирование, фрактальный анализ.

## THEORETICAL ASPECTS OF RESEARCH ENGINEERING OF MARINE DYNAMIC OBJECTS ON THE BASIS OF MODERN CATASTROPHE THEORY

Nechaev Yuri Ivanovich

the professor, Dr.Sci.Tech, the professor of DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE,  
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG  
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation.

### Abstract

The paper discusses theoretical aspects of using the dynamic catastrophe model in the system of marine dynamic objects research engineering. Primary attention is given to interpretation of design decisions in complex dynamic environment on the basis of fractal images, synergetic control theory and neuro-fuzzy and neuro-evolutionary modeling.

Structural and parametric synthesis of models on the basis of dynamic catastrophe theory is realized on complex ontology that is modified by metaontology and adaptive resonance principle. This allows changing the logics of system functioning according to interaction dynamics characteristics.

Dynamical synthesis of control and decision-making structure on the basis of catastrophe model allows rational organizing of structural research and developing new techniques and technology by interaction of designer and intellectual system in solving of the selected problems of research engineering.

**Key words:** catastrophe theory, research engineering, dynamic system, neuro-fuzzy modeling, neuro-evolutionary modeling, fractal analysis.

## Введение

Общая теория преобразования информации в сложных динамических средах привела к необходимости совершенствования концептуальных решений при проектировании сложных динамических объектов (ДО). На базе этой теории активно развиваются новые направления по созданию математического аппарата анализа и прогноза динамических ситуаций в системах исследовательского проектирования (ИП) и при создании бортовых интеллектуальных систем (ИС) обеспечения безопасности ДО в условиях эксплуатации. Решение задач исследовательского проектирования морских ДО в процессе построения архитектурно-конструктивных решений проводилось на основе достижений классической математики. Разрабатываемые модели так удачно подходили для этой цели, что казалось, что вряд ли найдется другой математический аппарат – столь прост и компактен. Однако развитие современной компьютерной математики показало, что многие прикладные задачи гораздо проще, а главное – путем минимальных затрат машинного времени, могут быть решены с помощью простых, но эффективных алгоритмов, построенных на основе новых направлений в исследовании динамики взаимодействия, отражающих реальные физические процессы в условиях существенной нелинейности и нестационарности ветроволновых полей. Теоретические модели и концептуальные решения ИП активно развиваются на базе современной теории катастроф в области создания средств виртуального, нейронечеткого и нейроэволюционного моделирования [1]-[3]. Использование этих разделов в составе общих задач ИП увеличит полезность математических построений и привлечет к ней новых исследователей, которые найдут в этой теории источник вдохновения.

В науке о топологической динамике современной теории катастроф есть своя эстетика и красота логической стройности теоретических принципов, заложенных в формализованные модели взаимодействия при исследовании динамики систем. Не может не восхищать математиков, физиков и механиков развитие концепции минимальной длины описания А. Н. Колмогорова и теория решения некорректных задач математической физики А. Н. Тихонова при построении алгоритмов обработки информации в режиме реального времени, а также принципа диссипации Н. Н. Моисеева, позволяющего реализовать концептуальные модели функционирования систем на основе фундаментальных принципов интеграции интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений.

*Различие точек зрения и подходов к использованию концептуальных решений проблемы формализации информации при моделировании сложных процессов взаимодействия в системах ИП позволяют глубже понять как математическую структуру принципов учета существенных факторов и их интерпретации в процессе*

*эволюции системы в условиях неопределенности, так и их место и роль в развитии теории систем и методов искусственного интеллекта [1] – [11].*

Ниже дается краткое содержание основных аспектов исследований, выполненных автором, как Международным экспертом в области высокопроизводительных вычислений и ИС, по совершенствованию теории катастроф и ее приложений в сложных динамических системах, которые обсуждались на Международных Форумах по проблемам развития современного общества в 2009 – 2015 годах, а также в университетах Кембриджа и Оксфорда (Великобритания) и Гарвардском университете США.

## 1. Динамическая модель взаимодействия на основе современной теории катастроф

Разработка ИС новых поколений осуществляется на основе достижений теории катастроф в соединении с современным математическим аппаратом и средствами высокопроизводительных вычислений. Теория катастроф служит мощным средством обработки и формализации информации. Она не заменяет прежние методы, а дополняет их новыми подходами и моделями, способствуя получению новых знаний о динамике сложных физических систем. При этом реализуется цепочка преобразования информации, связывающая топологический анализ с синтезом системы на основе формальных моделей теории динамических систем и интеллектуальных технологий (рис.1).

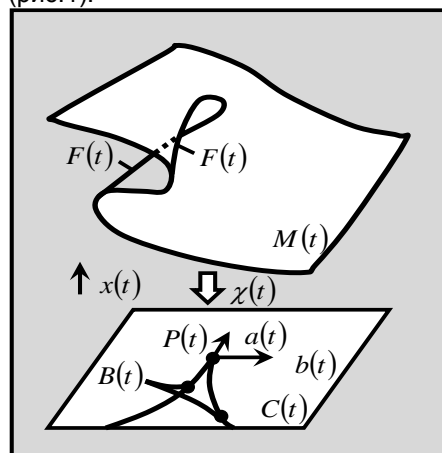


Рис.1. Динамическая модель катастрофы морского ДО

Современная теория катастроф — *интерпретирующая теория* и математический инструмент, требующий дальнейшего совершенствования в рамках интеллектуальных технологий XXI века. Эта теория открывает пути изучения не только качественных, но и количественных интерпретаций процессов и явлений реального мира, не всегда допускающих экспериментальную проверку. Действительно, исследование резких скачкообразных изменений в поведении сложных динамических систем не всегда доступно на ос-



нове физического моделирования, а натуральный эксперимент опасен и часто невозможен.

**Концептуальная модель преобразования информации в сложных динамических средах имеет вид [1]:**

$$S = (F : T \times X \times Q \rightarrow Y), \quad (1)$$

где **S** — множество стратегий управления; **F** — кортеж, определяющий множество элементов оперативной базы данных **X**, реализующих принцип конкуренции с учетом фактора времени **T**; **Q** — множество всех возможных значений вектора входных воздействий **Q**; **(T×X×Q)** — множество закономерностей в данных; **Y** — множество правил обобщения информации.

Модель (1) рассматривает *семантическое пространство* исследуемой проблемной области, включающее множество предметных областей в интегрированной системе ИП. Семантическая локализация этого пространства в рамках ИП связана с определением границ раздела в охватывающем их семантическом пространстве проблемной области. На этапе формализации знаний входящие в проблемную область компоненты можно рассматривать как множество существующих им семантических свойств [1]:

$$S_1 = \{S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1m}\}, \dots, \\ S_N = \{S_{N1}, S_{N2}, \dots, S_{Nm}\}. \quad (2)$$

При этом имеет место пересечение множеств семантических свойств различных областей, что позволяет записать *критерий локализации* в семантическом пространстве. Необходимым критерием существования выделенной области является *различимость* ее свойств в представленной семантической локализации. Для множества свойств **S** модели предметной области ИП следует ее однозначная идентификация. При этом считается, что свойства остаются тождественными себе на время, достаточное для построения модели и ее использования в формализованной системе знаний ИП, что особенно перспективно при реализации *аспектно-ориентированной* технологии моделирования.

Сформулируем основные положения современной теории катастроф, принципиально отличающие этот математический аппарат от классических моделей катастроф, разработанных французским математиком Рене Томом [11]. В первую очередь – это учет фактора времени при интерпретации динамических ситуаций. Этот фактор введен во все компоненты, характеризующие топологические особенности геометрической компоненты модели. Другая принципиальная особенность состоит в интеграции геометрической и аналитической компонент модели катастроф при решении сложных задач топологической динамики. Повышение эффективности решения в этом случае достигается за счет формализации задачи взаимодействия на основе принципа конкуренции [1].

Структурный и параметрический синтез моделей проблемной области на основе

динамической теории катастроф реализуется на базе комплексной онтологии, модификация которой осуществляется с помощью метаонтологии и принципа адаптивного резонанса, позволяющих осуществлять перестройку логики функционирования системы в зависимости от особенностей динамики взаимодействия. Аксиоматический базис теоретических построений содержит «концептуальное зерно», которое в практических приложениях динамики способствует построению формальных моделей нейронечеткого управления – реализации новых подходов, методов и моделей топологической динамики. За этим следует модификация поведения системы в интерпретируемой ситуации с использованием фрактальных отображений и энтропийного потенциала [6],[8].

*Вводя время в качестве дополнительной переменной модели катастроф, получаем n-мерное пространство, которое называется фазовым пространством состояний динамической системы на интервале реализации. Пространство конфигураций канонических уравнений динамики катастроф содержит независимые координаты и импульсы, и все они являются независимыми переменными задачи интерпретации и управления. Это 2n-мерное пространство называется фазовым пространством поведения и управления.*

## 2. Формальные модели интерпретации поведения морских динамических объектов в сложной динамической среде

Онтологию предметной области ИП обозначают  $S(\text{Subject})$  и определяют в следующем виде  $(\text{Ont})_S = \langle T(S), R(S), Ax(S) \rangle$ , (3) где  $T(S)$  (Terms) – конечное множество классов терминов (понятий) предметной области **S**, обладающих качественными признаками, которые составляют их отличительную особенность в онтологии построения формальных моделей ИП;  $R(S)$  (Relations) — конечное множество отношений между классами терминов;  $Ax(A)$  (Axiomas) – конечное множество аксиом (функций интерпретации), заданных на классах и отношениях онтологии [1]-[3].

Концептуальная модель вычислительного комплекса ИП (рис.2), реализующего динамическую модель катастроф, определяет решение следующих задач анализа и прогноза развития текущих ситуаций с помощью GS-системы:

$$T(GS) = \langle G(\text{Iden}), G(\text{Appr}), G(\text{For}) \rangle, \quad (3)$$

$$G(\text{Iden}) = \langle G(\text{Env}), G(\text{DO}) \rangle, \quad (4)$$

$$G(\text{For}) = \langle G(\text{Beh}), \{G(\text{Env}), G(\text{DO})\} \rangle, \quad (5)$$

где кортеж  $\langle \bullet \rangle$  характеризует граф-структуру задач контроля поведения ДО: идентификация  $G(\text{Iden})$ , аппроксимация  $G(\text{Appr})$ , прогноз  $G(\text{For})$  текущей ситуации;  $G(\text{Beh})$ ,  $G(\text{Env})$ ,  $G(\text{DO})$  – структуры, определяющие движение ДО в процессе

эволюции, параметры внешней среды и объекты моделирования.



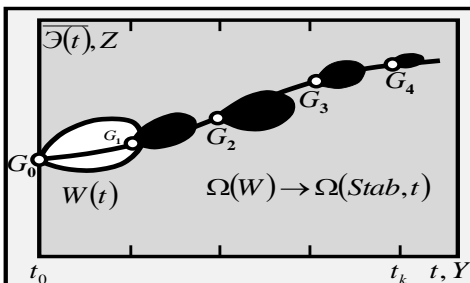
Рис.2. Структура вычислительного комплекса системы ИП

В соответствии с концепцией динамической модели катастроф граф-структура  $G(Beh)$  реализует принцип непрерывности при интерпретации эволюции ДО (рис.3). Этот принцип определяет формальную модель аттракторных и фрактальных множеств динамики GS-системы:

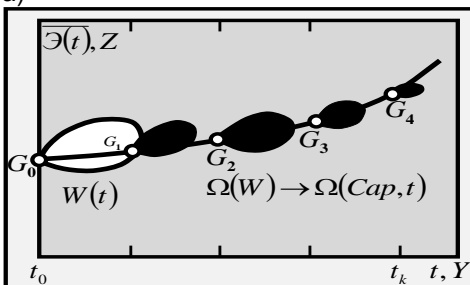
$$G(Beh) = \langle G(Attr) \rangle, \quad (6)$$

$$G(Attr) = \langle G(Stab), G(Cap) \rangle, \quad (7)$$

где  $G(Attr)$  – аттракторные множества;  $G(Stab) \in F_R(\Omega)$  – фрактальное множество, формирующее движение NN-системы к целевому аттрактору;  $G(Cap) \in F_R(\Omega)$  – фрактальное множество при потере устойчивости движения (возникновение катастрофы).



а)



б)

Рис.3. Фрактальная структура, определяющая движение ДО к целевому аттрактору (а) и при потере устойчивости (б)

Формирование аналитической компоненты обеспечивается на основе обобщающего принципа, содержащего различные модели преобразования информации на основе выработанных концептуальных решений. Принципиальное отличие

математического аппарата – формализация информации в условиях неопределенности. Математические модели взаимодействия в этих условиях на основе динамической теории катастроф содержат компоненты интеграции возмущающей и восстанавливающей компонент в условиях значительной нелинейности и нестационарности при непрерывном изменении динамики объекта и внешней среды. Примерами такого описания являются модифицированные модели Дуффинга и Матье [1], в которых нелинейные члены учитывают широкий диапазон изменения структурных компонент. Кроме того, диаграмма устойчивости стандартной модели Матье (линейная модель) модифицирована путем учета нелинейных и диссипативных компонент в режиме реального времени. Такие представления позволяют существенно упростить формальные вычислительные процедуры в режиме реального времени и построить эффективные алгоритмы обработки информации в рамках концептуальных решений А.Н.Колмогорова и [4].

Среди них следует выделить алгоритм функционала действия [1], позволяющий в условиях неопределенности внешнего возмущения построить решение обратной задачи на основе теории некорректных задач А.Н.Тихонова [10]. Применение обратного оператора в канале управления лежит в основе методов исследования систем в условиях неопределенности. Универсальность такого описания приводит к более полному представлению реальных физических процессов, протекающих в сложных динамических системах. И наконец, открываются возможности более четкой формализации динамики взаимодействия в рамках современной теории катастроф. С позиции фундаментального принципа диссипации Н.Н.Моисеева [7] процесс эволюции системы определяется движением к целевому аттрактору и потерей устойчивости движения – возникновением катастрофы. Практическая реализация этого представления осуществляется путем сочетания возможностей интеллектуальной поддержки и изменением существенных факторов реального взаимодействия в процессе эволюции системы.

Формальный аппарат разработанной модели поддерживается за счет привлечения методов современной компьютерной математики. В частности была модифицирована теория итерированных функций [5] путем введения на каждом шаге итерации функции интерпретации, которая вместе с функцией управления способствуют более корректной оценке состояния системы на каждом шаге итерации [3]. В этих условиях достигается более корректное построение функции управления с учетом реального состояния системы в сложной динамической среде.

Геометрическая интерпретация отмеченных предельных случаев движения системы реализуется на основе фрактальной математики [8]. В качестве математического описания принята эллиптическая модель, изменяющая свою конфигурацию в зависимости от уровня действующих

возмущений и параметров математической модели. Другой формой описания может служить множество Кантора [5],[8], с помощью которого на основе гипотезы монотонности изменения процесса на вырезанных участках этого множества, можно построить модели сложных процессов реальных физических систем. Задача о нахождении точки, в которой на вырезанном участке возможно появление экстремума функции интерпретации приводит к необходимости исследования окрестностей этой точки с целью установления феномена, подтверждающего, что функция интерпретации обладает стационарным значением в рассматриваемой точке.

Концептуальная модель аналитической компоненты динамической модели катастроф позволяет исследовать явление «скачка» функции интерпретации даже в условиях существенной нестационарности путем введения гипотезы квазистационарности на ограниченных интервалах реализации, а проверка адекватности решения [1] ведется на основе принципа сложности [9]. Проверка на стационарность состоит в определении необходимых и достаточных условий наличия стационарного значения функции интерпретации в заданной точке. Для функции  $n$ -переменных требуется обращения в нуль всех ее частных производных. Функция не имеет экстремума в стационарной точке, если вторая вариация положительна для одних перемещений и отрицательна для других, т.е. при выполнении условия существования наличие экстремума связано со значениями второй вариации. Экстремум функции интерпретации требует стационарного значения лишь в случае перемещений, обратимых по направлению. На границах области пространства конфигураций, где обратимость не имеет места экстремум может достигаться и не в стационарных точках.

При анализе сложных процессов часто возникают ситуации взаимодействия медленных и быстрых движений исследуемой системы [3]. Разделение таких движений может оказаться полезным в задачах управления и идентификации случаев взаимодействия, а также при построении моделей долгосрочного и краткосрочного прогноза в зависимости от входа-выхода интерпретирующей модели. Условия разрешимости моделей формирования заданных движений на выходе системы определяются двумя аспектами. Первый – это исследование условий существования управления, обеспечивающего заданное движение по выходным переменным объекта управления на конечном временном интервале. Второй аспект связан с исследованием условий, при которых компоненты вектора состояния остаются ограниченными (свойство внутренней устойчивости). Проблема выбора движения аналитическими методами требует обобщения исходной концепции, гибко учитывающей особенности динамики системы и построения функции интерпретации на различных участках траекторного управления. Наглядная картина сложного про-

странства позволяет распространить динамику одной точки траектории на сколь угодно сложные физические системы в рамках фрактального представления. Такая система заменяется фракталом, движение которого изучается на интервале реализации [3]. Пространство взаимодействия, в котором находится фрактальное представление, уже не является обычным физическим процессом. Это – абстрактное отражение реальной действительности, количественные измерения которой определяются условиями задачи [1]-[3].

*Функции интерпретирующей системы, ответственные за соматические и синоптические процессы, а также общее поведение нейронной сети и генетических операторов при нейроэволюционном моделировании нелинейных нестационарных сред, обеспечивают наиболее важные аспекты эволюции динамических систем (поддержание гомеостаза и управления поведением), в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды. Коррекция поведения системы достигается за счет повторяющихся циклов обучения и производства новой информации о динамике взаимодействия при контроле экстремальных ситуаций на основе динамической модели катастроф.*

### 3. Принципы формализации неопределенности и оценка адекватности вычислительных технологий динамической модели катастроф

Онтология задач и принципов формализации неопределенности в качестве понятий содержит типы решаемых задач, а отношения этой онтологии обеспечивают декомпозицию задач на подзадачи. Иерархическая модель, объединяющая функциональные модули прикладных программ обработки информации, позволяет описывать интегрированную систему ИП на различных уровнях абстракции. Используемый в ИП базис понятий и отношений является открытым и может пополняться в зависимости от компонентов, составляющих интегрированную ИС. Причем пополнение может происходить за счет интерпретации нестандартных (нештатных и экстремальных) ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации [1]-[3].

Операционная модель проблемной области ИП в рамках семантической структуры представляет собой кортеж в виде совокупности структур:  $M = \langle SK, SF \rangle$ , (8) где  $SK$  — концептуальная структура организации моделей ИП на основе принципов формализации неопределенности;  $SF$  — функциональная структура, характеризующая модели взаимодействия в экстремальных ситуациях, генерируемых в рамках принципа конкуренции.

Структура  $SK$  определяет классы моделей в зависимости от уровня неопределенности, а структура  $SF$  – интерпретацию этих моделей на основе концепции виртуального моделирования и оценки адекватности с учетом принципа сложности.

Преобразование информации при построении множества  $W(t)$ , интегрирующего компоненты модели ДО на участке реализации динамической модели катастроф рассматриваемая система  $\mathfrak{R}$  общей области топологического пространства  $\mathfrak{Z}$  включает подсистемы  $\mathfrak{R}'$  и  $\mathfrak{R}''$ . Из пары  $(\mathfrak{R}, \mathfrak{R}')$  и  $(\mathfrak{R}, \mathfrak{R}'')$  можно составить следующую последовательность операций [3]:

$$\mathfrak{R}^0 \rightarrow \mathfrak{R}' \xrightarrow{\alpha'} \mathfrak{R} \xrightarrow{\beta'} \mathfrak{R}'' \rightarrow p^0(\mathfrak{R}, \mathfrak{R}'); \quad (9)$$

$$\mathfrak{R}^0 \rightarrow \mathfrak{R}'' \xrightarrow{\alpha''} \mathfrak{R} \xrightarrow{\beta''} \mathfrak{R}'' \rightarrow p^0(\mathfrak{R}, \mathfrak{R}''), \quad (10)$$

где  $\mathfrak{R}^0$  – исходная система взаимодействия;  $\mathfrak{R}'$  – фактор-система  $\mathfrak{R}$  и  $\mathfrak{R}''$ ;  $\mathfrak{R}''$  – фактор-система  $\mathfrak{R}$  и  $\mathfrak{R}'$ ;  $(\alpha'$  и  $\beta')$  и  $(\alpha''$  и  $\beta'')$  – ограниченные операторы;  $p^0(\mathfrak{R})$  – система, определяющая формирование аттракторных множеств при движении ДО к целевому аттрактору и при потере устойчивости (возникновение катастрофы).

На основе представлений (9) и (10) формализуется движение системы в процессе эволюции, определяемой динамической моделью катастроф. Основной принцип, заложенный в структуру алгоритмов интерпретации топологической динамики NN-системы, состоит в разработке некоторой универсальной модели интерпретации, представленной в рамках теории сложности [9]. Стратегия такого эксперимента является типичной для алгоритмов реального времени и состоит в рациональном накоплении информации для обеспечения заданной достоверности получения окончательного результата. Вычислительная технология предусматривает использование «скользящего окна», которое формируется в процессе выполнения операций обработки информации:

$$J(X) \rightarrow J_1(X) \rightarrow J_2(X) \rightarrow J_3(X) \rightarrow W_1(X), \dots, W_N(X), \quad (11)$$

где  $J(X)$  – вектор, определяющий поток информации после инициализации алгоритма;  $J_1(X), \dots, J_3(X)$  – поток информации на первом – третьем шагах работы алгоритма;  $W_1(X), \dots, W_N(X)$  – поток информации при движении «скользящего окна».

Для исследуемых задач топологической динамики стратегия (11) определяет учет особенностей взаимодействия в рамках гипотезы квазистационарности [1], предполагающей, что за время обработки «скользящего окна» параметры системы и внешних возмущений не превышают допустимых изменений. Выбор «скользящего окна» для обрабатываемых массивов информации выполняется в процессе анализа режимов функционирования системы взаимодействия.

При разработке технологии ИП принципиальное значение приобретает проблема построения функции интерпретации информационной, алгоритмической и программной среды. Реализация этой функции позволяет формализовать

процесс ИП с учетом преимуществ технологии обработки информации на основе динамической модели катастроф. Поэтому план выдвигается принцип открытости и особенно адаптивная компонента, обеспечивающая самоорганизацию моделей ИП при контроле динамики сложных систем на основе современной теории катастроф.

#### 4. Синергетическая теория управления и энтропийный потенциал при интерпретации динамических ситуаций

Синергетическая парадигма при изучении поведения ДО в системе ИП определяет формирование теоретического базиса динамики системы при реконструкции моделей катастроф. Информационная модель, определяющая динамическую среду моделирования процессов преобразования информации, характеризует элементы множеств модифицированной катастрофы сборки. Гипотеза квазистационарности позволяет представить синергетическое управление  $\pi(S)$  системой в виде последовательности:

$$\pi(S) = f_j(\bullet) | \Delta t_1, \dots, f_n(\bullet) | \Delta t_n, \quad (12)$$

где  $f_j(\bullet)$  – закон управления на  $j$ -м этапе эволюции системы ( $j=1, \dots, n$ ), определяющий корректировку параметров порядка;  $\Delta t_j$  – длительность этапов фазы «расширения – сжатия» при реализации синергетической парадигмы [1]-[3].

Модель преобразования информации в процессе эволюции ДО (рис.4) позволяет представить фазу сжатия (фазу движения системы к целевому аттрактору) на интервале реализации

$$[t_1, t_2] \subseteq \Delta t_j \quad (j = 1, \dots, n) \quad (13)$$

опишем с помощью оператора перехода

$$\mathfrak{R} \{ [t_1, t_2], R(S) \}: X(t_1), u([t_1, t_2]), W([t_1, t_2]) \rightarrow X(t_2), \quad (14)$$

где  $u([t_1, t_2])$  – управление на отрезке времени;  $W([t_1, t_2])$  – действующие возмущения;  $R(S)$  – доступные ресурсы.

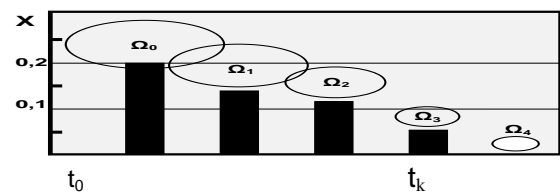


Рис.4. Интерпретация фазы «сжатия» и возникновение катастрофы (эллипсы) при недостаточной эффективности интеллектуальной поддержки (столбики):  $\Omega$  – области, отображающие взаимодействие восстанавливающей и возмущающей компонент на  $[t_0, t_k]$ ;  $X$  – определяющий параметр

Критерий качества работы оператора перехода определяет максимальное соответствие ситуации действительности (адекватность) в момент времени  $t_2$ :

$$J(S) \{ X(t_2) Y(t_2) \rightarrow \min \}, u \in [t_1, t_2] \quad (14)$$

Фаза расширения при отображении топологической динамики системы определяется моделью адекватной системы знаний:

$$KB(S) = \{f(\bullet)|\mu : KB^1 \rightarrow KB^2\} \cup R(KT), \quad (15)$$

где  $f(\bullet)|\mu$  — отображения, реализующие математические модели;  $\mu$  — механизмы реализации отображений;  $KB^1$  и  $KB^2$  — входные и выходные данные задачи;  $R(KT)$  — правила композиции, описывающие способы объединения локальных задач.

Общая формальная модель знаний, интегрирующая используемые классы математических моделей топологической динамики NN-системы, представляется как

$$\Phi_1\{f(\bullet)|\mu\}, \dots, \Phi_5\{f(\bullet)|\mu\}, \quad (16)$$

где  $\Phi_j\{f(\bullet)|\mu\}$ , ( $j=1, \dots, 5$ ) — функции, определяющие классы используемых моделей:  $\Phi_1\{f(\bullet)|\mu\}$  и  $\Phi_2\{f(\bullet)|\mu\}$  — вычислительные и диагностические модели;  $\Phi_3\{f(\bullet)|\mu\}$  — модели, описывающих характерные точки, кривые и области, определяющие топологию катастрофы;  $\Phi_4\{f(\bullet)|\mu\}$  — моделей анализа и прогноза текущей ситуации;  $\Phi_5\{f(\bullet)|\mu\}$  — модели динамической базы знаний.

Реализация синергетического управления системой ИП при использовании методов теории катастроф связана с разработкой концептуальной базы интеллектуальной поддержки высокопроизводительных вычислений в мультипроцессорной вычислительной среде.

Использование топологической энтропии при контроле поведения ДО приводит к образованию ядра множества, содержащего преобразования, позволяющие представить величину энтропии  $H(y)$ , энтропийного потенциала  $\Delta_3$  и его приращения  $\delta\Delta_3$  на основе динамической модели катастроф (движение к целевому аттрактору и при потере устойчивости):

$$H(y) = - \int_{-\infty}^{\infty} p(y) \ln p(y) dy = - \int_{-\Delta}^{\Delta} \frac{1}{2\Delta} \ln \frac{1}{2\Delta} dy = \ln 2\Delta : \quad (17)$$

$$\Delta_3 = K_3 \sigma; \Delta_3 \rightarrow \min; \delta\Delta_3 = \Delta_{31} - \Delta_{32}. \quad (18)$$

где  $p(y)$  — закон распределения исследуемого параметра;  $K_3$  — энтропийный коэффициент;  $\sigma$  — величина среднеквадратического отклонения, характеризующая степень рассеяния параметра системы взаимодействия.

Учет неопределенности ситуации в рамках такого представления достигается путем рассмотрения эволюции системы на основе перехода в нечеткий логический базис и использования теории энтропийного потенциала. Геометрические образы фрактального анализа с использованием эллиптических отображений отличаются сравнительной простотой и наглядностью, что позволяет использовать такие модели в системе интеллектуальной поддержки при реализации когнитивной парадигмы. Таким образом, динамическая модель катастроф при анализе сложных процессов позволяет рационально организовать вычислительный процесс контроля динамических ситуаций с учетом фактора времени и реально действующих физических процессов.

### 5. Фрактальный анализ динамических ситуаций и когнитивная парадигма в моделях управления и принятия решений

Модель интерфейса проблемной области ИП формализуется на основе когнитивной парадигмы и учитывает соответствие между моделями системы понятий, выразительными средствами и прикладной программой решения задач ИП

$$UO = \{A, B, C, D, E\}, \quad (19)$$

где  $UO$  — универсальная онтология ИП;  $A$  — онтологии проблемной области;  $B$  — онтологии выразительных средств интерфейса с использованием виртуального моделирования задач динамики;  $C$  — онтологии прикладной программы реализации задач в сложной динамической среде;  $D$  — онтология сценариев диалога;  $E$  — онтология связи между онтологиями проблемной области и выразительных средств ( $E_1$ ) и прикладной программы ( $E_2$ ); кортеж  $\langle A, B, C, D, E \rangle$  описывает потоки информации о соответствующих универсальных онтологиях.

Задачи динамики могут быть сформулированы в геометрических образах на основе фрактальной интерпретации [8]. Для этого заданной физической задаче нужно поставить в соответствие необходимую форму метрической геометрии. Пространство конфигурации при этом включает в себя время наравне с другими переменными. Идея фрактального анализа и дистанционного управления эксперимента в системе ИП при контроле поведения ДО позволяет обеспечить реализацию функций интерпретации в зависимости от неопределенности ситуации и уровня действующих возмущений. Программное средство поддержки стратегического планирования операций (рис.5) позволяет реализовать процедуры выбора решения в системе ИП.

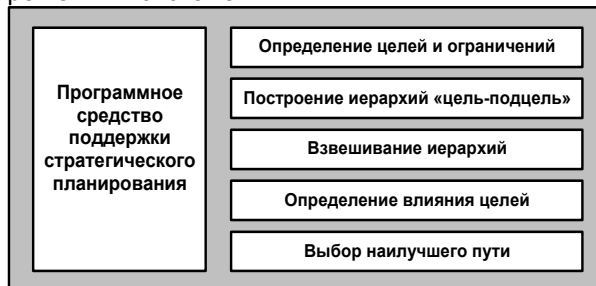


Рис.5. Программное средство стратегического планирования операций в системе ИП

Проблема мотивации управления и генерации альтернативных решений решается путем построения модели управления, реализующей структурные и функциональные изменения в виде фрактальных отображений динамической модели катастроф. Такой подход позволяет организовать процесс ИП в виде повторяющихся циклов, определяющих развитие концептуальных решений на каждом этапе эволюции системы. Построение моделей системы ИП – нахождение наилучших отображений в многообразии, определяющем класс допустимых моделей, которые структурно

устойчивы и имеет наименьшую энтропию среди всех структурно устойчивых множеств системы.

*Введение произвольных координатных систем и инвариантность динамических моделей преобразования информации позволяет рассматривать поведение фрактала в процессе эволюции с заданной структурой, определяемой как элемент пространства конфигураций на интервале реализации.*

### Заключение

Повышение надежности и качества принимаемых решений в системе ИП достигается на основе концептуальной модели прогноза динамики объекта и высокопроизводительных средств обработки измерительной информации. Для реализации требований к моделям взаимодействия и алгоритмам обработки информации необходимо выполнить условия сохранения целостности исходной информации при решении задач анализа и интерпретации данных; выделить структуры в совокупности данных, обеспечивающие надежный контроль и прогноз поведения ДО в режиме реального времени, а также выявить закономерности между особенностями исследуемых про-

цессов и поведением ДО при различной интенсивности внешних возмущений.

Функционирование системы ИП осуществляется на основе динамической базы знаний [1] – [3], обеспечивающей анализ и прогноз развития различных (в том числе нештатных и экстремальных) ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации. Методы и модели, положенные в основу обработки информации, позволяют исследовать динамические процессы при неопределенности и неполноте исходной информации. В этих условиях при построении математической модели реального процесса приходится прибегать к определенным упрощениям. Таким образом, векторное поле, входящее в правую часть динамических уравнений, всегда будет известно с определенной степенью точности в пределах малой окрестности функционального пространства.

*Динамический синтез структуры управления и принятия решений на основе динамической модели катастроф позволяет рационально организовать структурные исследования и построить процесс создания новой техники и технологий на основе интерактивного взаимодействия разработчика с ИС в процессе решения выделенных классов задач ИП.*

### Литература

1. *Нечаев Ю.И.* Теория катастроф: современный подход при принятии решений. – Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2011.
2. *Нечаев Ю.И., Петров О.Н.* Непотопляемость судов: подход на основе современной теории катастроф. – Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2014.
3. *Нечаев Ю.И.* Топология нелинейных нестационарных систем: теория и приложения. – Санкт-Петербург: Арт-Экспресс, 2015.
4. *Колмогоров А.Н.* Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987.
5. *Кронвер Р.М.* Фракталы и хаос в динамических системах. – М.: Техносфера, 2000.
6. *Лазарев В.Л.* Теория энтропийных потенциалов. – Санкт-Петербург. Изд-во Политехнического университета, 2012.
7. *Моисеев Н.Н.* Избранные труды, М. Тайдекс Ко, 2003.
8. *Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х.* Красота фракталов. — М.: Мир, 1993.
9. *Солодовников В.В., Тумаркин В.И.* Теория сложности и проектирование систем управления. — М.: Наука, 1990.
10. *Тихонов А.Н., Арсенин В.Я.* Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986.
11. *Thom R.* Catastrophe theory: Its present state and future perspectives. — Dynamical systems. Warwick. 1974. — Berlin — Heidelberg — New York Springer Verlag. 1–75. p.p.366–372.

### References

1. *Nechaev Yu.I.* Teoriya katastrof: sovremennyy podkhod pri prinyatii resheniy [Catastrophe theory: the modern approach to decision-making]. Saint-Petersburg, Art-Express Publ., 2011.
2. *Nechaev Yu.I., Petrov O.N.* Nepotoplyaemost' sudov: podkhod na osnove sovremennoy teorii katastrof [Ship unsinkability: an approach on the basis of modern catastrophe theory]. Saint-Petersburg, Art-Express Publ., 2014.
3. *Nechaev Yu.I.* Topologiya nelineynykh nestatsionarnykh sistem: teoriya i prilozheniya [Topology of non-linear non-stationary system: theory and application]. Saint-Petersburg, Art-Express Publ., 2015.
4. *Kolmogorov A.N.* Teoriya informatsii i teoriya algoritmov [Information theory and algorithms theory]. Moscow, Science Publ., 1987.



5. *Kronnover R.M.* Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh [Fractals and chaos in dynamic systems]. Moscow, Postmarket Publ., 2000.
6. *Lazarev V.L.* Teoriya entropiynykh potentsialov [Theory of entropy potentials]. Saint-Petersburg. STU Publ., 2012.
7. *Moiseev N.N.* *Izbrannye trudy [Selected proceedings]*. Moscow. Tydex Co, 2003.
8. *Paytgen Kh.-O., Rikhter P.Kh.* Krasota fraktalov [Beauty of fractals]. Moscow, World Publ., 1993.
9. *Solodovnikov V.V., Tumarkin V.I.* Teoriya slozhnosti i proektirovanie sistem upravleniya [Complexity theory and control systems design]. Moscow, Science Publ., 1990.
10. *Tikhonov A.N., Arsenin V.Ya.* *Metody resheniya nekorrektnykh zadach [Methods of solution of ill-defined problems]*. Moscow, Science Publ., 1986.
11. *Thom R.* Catastrophe theory: Its present state and future perspectives. In *Dynamical systems – Warwick*. 1974. Berlin — Heidelberg — New York Springer Verlag. 1–75. p.p.366–372.

## Математическое моделирование

УДК 621.694.21/23

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗО-ГАЗОВОГО БЕЗДИФFUЗОРНОГО СТРУЙНОГО АППАРАТА НА ЕГО РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**Мазилевский Илья Игоревич**

младший научный сотрудник

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет  
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лощманская д. 3  
тел. (812) 494-09-53; e-mail: mazepa787@gmail.com**Шаманова Инна Валерьевна**

инженер-исследователь

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет  
тел. (812) 495-28-48; e-mail: shamanova.i@smtu.ru

#### Аннотация

В статье приведены результаты исследования влияния геометрии проточной части (положения сопла, длины камеры смешения, формы конфузора) на напорную характеристику струйного аппарата без диффузора при избыточных давлениях рабочего газа 30, 50 и 80 кПа. Диаметр рабочего сопла и цилиндрической камеры смешения были приняты равными 1.5 мм и 3.2 мм.

Исследование проводилось с целью снижения давления рабочего газа путем изменения геометрии проточной части струйного аппарата при условии минимизации массогабаритных характеристик струйного аппарата за счет удаления диффузора.

Применение подобных аппаратов особенно перспективно в контурах рециркуляции электрохимических генераторов. Отказ от диффузора наиболее целесообразен для батареи топливных элементов с небольшим перепадом давлений (2 – 3 кПа) в контуре рециркуляции.

После рассмотрения более ста вариантов геометрии струйного аппарата было выявлено, что напорную характеристику с наибольшим давлением смеси и коэффициентом инжекции обеспечивает струйный аппарат с углом раскрытия 30 градусов, длиной камеры смешения 15 мм и положением сопла 4 мм. Так же было определено, что длина камеры смешения, обеспечивающая наибольший рост параметров характеристики, не зависит от угла раскрытия конфузора в исследованном диапазоне 40 - 160°. С ростом рабочего давления наблюдается смещение характеристики в сторону низких коэффициентов инжекции и высоких давлений смеси.

**Ключевые слова:** струйный аппарат, электрохимический генератор, камера смешения, контур рециркуляции, положение сопла, напорная характеристика.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF INFLUENCE GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE GAS-GAS JET DEVICE WITHOUT THE DIFFUSER ITS OPERATING CHARACTERISTICS

**Mazilevsky Ilya Igorevich Research**

Associate Problem

STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG  
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation  
tel: (812) 494-09-53 e-mail: mazepa787@gmail.com**Shamanova Inna Valerievna**

Engineer researcher

STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG  
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation  
tel. (812) 495-28-48 e-mail: shamanova.i@smtu.ru

## Abstract

Results of research of influence of geometry of flow passage (the position of a nozzle, length of the camera of mixture, confuser form) on the pressure head characteristic of the jet device without diffuser with excessive pressures of working gas 30, 50 and 80 kPa are given in article. Diameter of a working nozzle and cylindrical camera of mixture equal 1.5 mm and 3.2 mm were accepted.

Research was conducted for the purpose of pressure decrease of working gas by change of geometry of flowing passage of the jet device on condition of minimization of mass-dimensional characteristics of the jet device due to removal of the diffuser.

Use of similar devices is especially perspective in contours of recirculation of electrochemical generators. Refusal of the diffuser is most expedient for the battery of fuel elements with small difference of pressure (2 – 3 kPa) in a recirculation contour.

After consideration more than hundred options of geometry of the jet device were revealed that the pressure head characteristic with the greatest pressure of mix and coefficient of injection is provided by the jet device with a corner of disclosure of 30 degrees, length of the camera of mixture of 15 mm and the position of a nozzle of 4 mm. Also it was defined that the mixture camera length providing the greatest growth of parameters of the characteristic doesn't depend on a corner of disclosure of a confuser in the investigated range of 40 - 160 degrees. With growth of working pressure there is a shift of the characteristic towards low coefficients of injection and high pressures of mix.

**Key words:** jet device, electrochemical generator, mixing chamber, recirculation loop, position of the nozzle, operating characteristic.

Одним из направлений развития водородной энергетики является электрохимический генератор (ЭХГ). Он нашел свое применение в космической, наземной, а также, морской отраслях промышленности. Одним из направлений развития ЭХГ является низкотемпературные (60 – 200 °С) батареи топливных элементов (БТЭ). К ним относятся БТЭ с щелочным электролитом и твердополимерным электролитом (ТПЭ). Водородно - кислородные ЭХГ с ТПЭ обладают существенными преимуществами по сравнению со щелочными топливными элементами: отсутствием циркуляции агрессивной среды, более компактностью устройства, чистой генерируемых газов, возможности эксплуатации при высоких топливных нагрузках [1].

К основным недостатком данной БТЭ относится сложность поддержания водного режима [1]. Во избежание заливания газодиффузионного слоя необходимо удалять реакционную воду, выделяющуюся при электрохимической реакции, и, при этом, чрезмерно не пересушить его. Для этого используют систему отвода части рабочего газа, как с катода, так и с анода на рециркуляцию, смешивая его тем самым с потоком газа из системы охлаждения.

В качестве нагнетателя могут быть использованы электрические побудители (насосы, компрессоры). Однако подобные решения приводят к затрате части вырабатываемой ЭХГ энергии на поддержание работы нагнетателя. Как альтернатива могут быть использованы дозвуковые струйные аппараты (СА) [2, 3]. К основному их достоинству следует отнести тот факт, что для своей работы

они не требуют подвода электрической энергии, требуется лишь источник потенциальной энергии высокого давления [4]. Однако СА обладает большими линейными размерами.

В настоящее время нашли свое применение БТЭ с малым перепадом давления реагента на реакционных камерах, порядка 2 - 3 кПа. Поэтому в связи с низкой скоростью потока в конце камеры смешения СА от диффузора можно отказаться. Тем самым снизив габаритные размеры СА почти в 2 раза.

Так как основной задачей при проектировании СА, кроме обеспечения требуемой кратности циркуляции и давления газа на входе в БТЭ, является минимизация давления рабочего газа ( $P_p$ ), возникла необходимость исследовать влияние основных геометрических параметров СА без диффузора (длины камеры смешения ( $L_{кс}$ ), положения сопла ( $L_{соп}$ ) и формы конфузора) на его рабочую характеристику ( $[P_{см}-P_i]/P_i = f(U)$ , где  $P_{см}$  - давление смеси,  $P_i$  – давление инжектируемого потока,  $U = G_i/G_p$  – коэффициент инжекции, равный отношению массовых расходов инжектируемого и рабочего потоков).

С этой целью, в рамках государственного задания № 115031110112 (дата регистрации 01.05.2015), были проведены исследования СА с различной геометрией проточной части на контрольно-измерительном комплексе «КРЦ». Средства измерений контрольно-измерительного комплекса «КРЦ» прошли необходимые процедуры поверки и калибровки в ФБУ «Тест-С.-Петербург». Пневматическая схема для проведения испытаний СА представлена на рисунке 1.

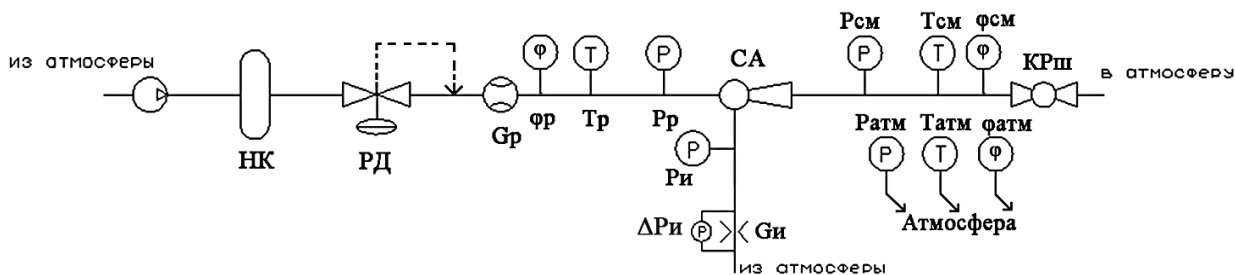


Рис. 1. Пневматическая схема для исследования СА. НК – ресивер; РД – регулятор давления «после себя»; СА – струйный аппарат; КРШ – шаровый кран; Gr – датчик массового расхода газа PFM711S-F02-D; Gi – шайба расходомерная; φ, фсм – датчик относительной влажности и температуры ДВТ-0.3ТЭ-Н1-80; Tr, Тсм – преобразователь термоэлектрический ТП-2488/2 ХК; Рр, Рсм, Ри – прецизионный датчик давления/разряжения ZSE 30AF-01-28; ΔР – датчик дифференциального давления PSE550-28; Ратм – датчик атмосферного давления Testo 511; фатм, Татм – датчик относительной влажности и температуры Testo 410-2.

Конструктивное исполнение исследуемого СА представлено на рисунке 2. Изготовление проточных частей макетных аппаратов (камеры смешения и сопла) осуществлялось посредством 3D печати на 3D принтере Wanhao duplicator 4 типа послойного наплавления (FDM - Fused Deposition Modeling). Для создания G кода

использовалась программа «MakerBot Desktop 3.3». Исходя из того, что печать сопла круглого сечения при диаметрах кромки сужающегося участка меньше 2,2 мм на принтерах FDM невозможна, диаметр 1,5 мм получен сверлением на станке.

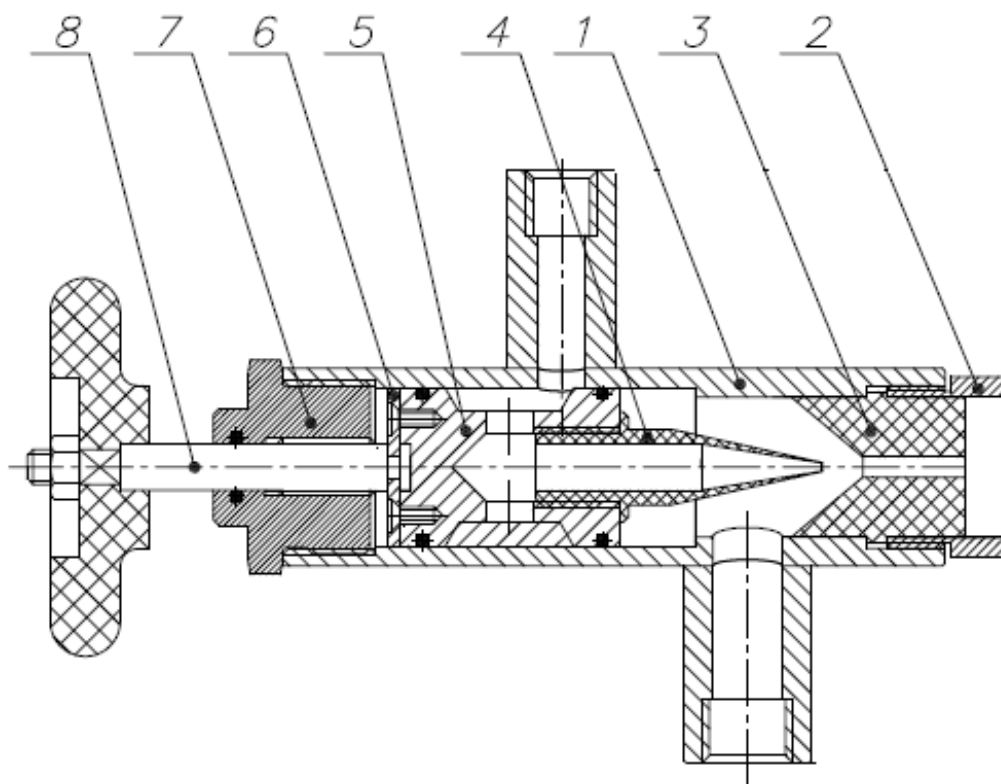


Рис. 2. Конструктивное исполнение объекта испытаний. 1 – корпус, 2 – фиксатор камеры смешения, 3 – камера смешения, 4 – рабочее сопло, 5 – каретка, 6 – пластина, фиксатор штока, 7 – гайка с регулирующей положением штока резьбой, 8 – шток

В ходе исследований было рассмотрено более 100 вариантов геометрии СА. Они были испытаны при давлениях рабочего газа 30, 50 и 80 кПа (изб), что соответствовало массовым расходам рабочего газа 23, 29 и 36 нл/мин. В таблице 1 приведен список исследованных геометрий СА при соответствующих давлениях газа. Следует отметить, что в ходе испытаний не изменялись диаметры рабочего сопла (1,5 мм) и камеры смешения (3,2 мм). Таблица 1

**Список исследованных вариантов геометрии струйного аппарата при различных давлениях рабочего газа**

Длина камеры смешения, мм	Положение сопла ( $L_{соп}$ ), мм / Давление рабочего газа ( $P_p$ ), кПа			
	Конус 40°	Конус 60°	Конус 80°	Конус 160°
5	-	1 - 11 / 30	2 - 11 / 30, 50	-
10	1 - 9 / 30, 50, 80	2 - 9 / 30	-	-
15	0 - 9 / 30, 50, 80	2 - 9 / 30, 50, 80	2 - 8 / 30, 50, 80	2 - 9 / 30, 50, 80
20	-	0 - 9 / 30	-	-
25	-	-	1-6 / 30, 50, 80	-

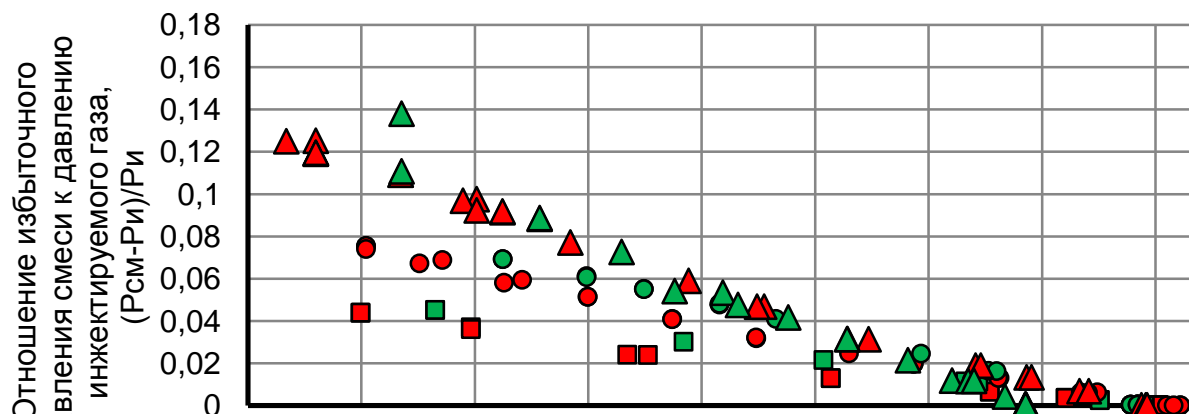
**Примечание:** Здесь и далее положительные значения  $L_{соп}$  свидетельствуют о смещении сопла в направлении противоположном направлению потока рабочего газа, при  $L_{соп} = 0$  выходная кромка рабочего сопла соответствует входной кромке цилиндрического участка камеры смешения.

Снятие характеристики СА осуществлялось при постепенном открытии шарового крана из положения «Закрыт полностью». Каждое новое положение крана обеспечивало снижение давления смеси на 1/15 – 1/20 часть от давления при полностью закрытом кране. Для обеспечения установившегося режима, промежуток времени между изменением положения крана, составлял порядка 20÷30 секунд.

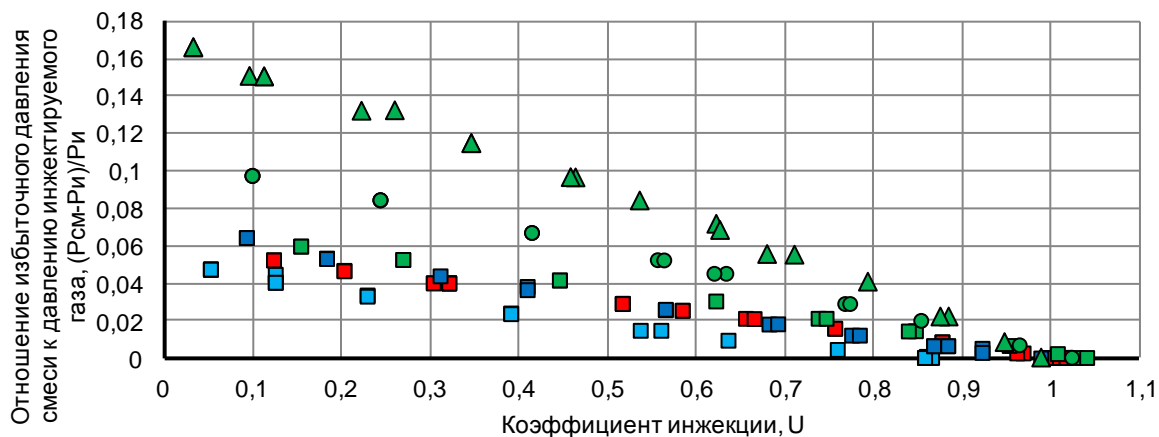
Характеристики СА, полученные в ходе исследования, при положении сопла обеспечивающим наибольшее значение коэффициента инжекции ( $U$ ) и давления смеси ( $P_{см}$ ) (далее называемой наилучшей характеристикой) при давлениях рабочего газа 30, 50 и 80 кПа представлены на рисунке 3. Следует отметить, что показания датчиков избыточного давления инжектируемого потока всегда были равны 0 кПа ( $i$ ), а атмосферное давление при построении характеристик было принято равным 101,325 кПа.

а)

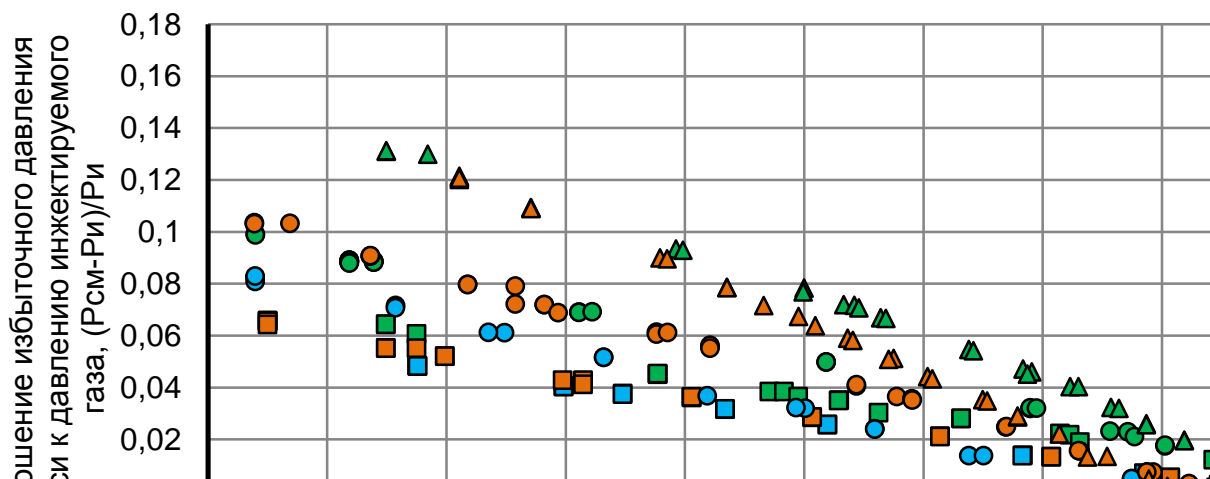
Угол 40°  $P_p = 30, 50, 80$  кПа



б)

Угол  $60^\circ$   $P_p = 30, 50, 80$  кПа

в)

Угол  $80^\circ$   $P_p = 30, 50, 80$  кПа

г)

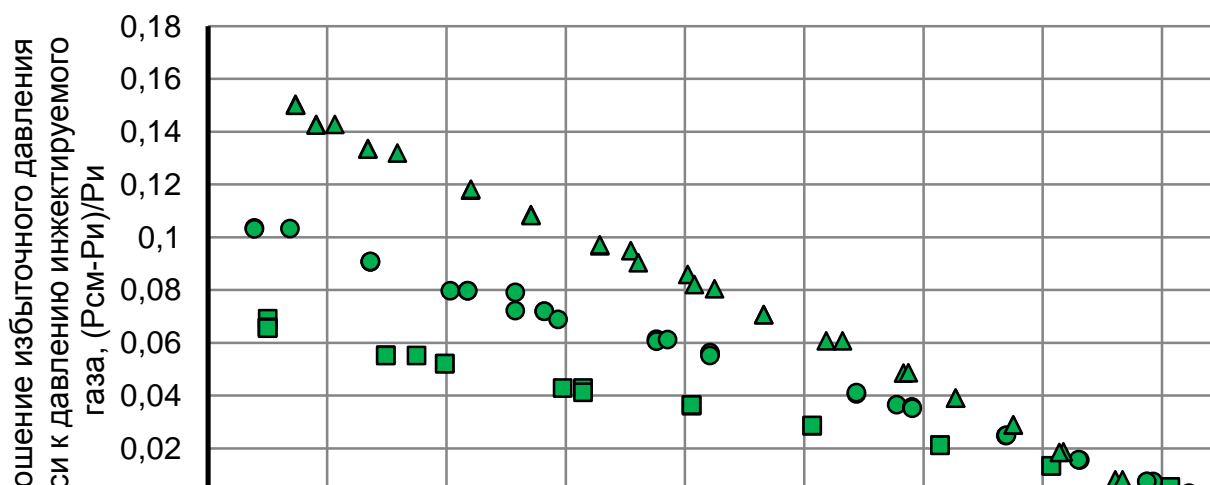
Угол  $160^\circ$   $P_p = 30, 50, 80$  кПа

Рис. 2. Характеристики струйных аппаратов при  $d_{кс} = 3,2$  мм,  $d_{сол} = 1,5$  мм,  $L_{кс} = 5, 10, 15, 20, 25$  мм,  $L_{сол} = 2 - 8$  мм  $P_p = 30, 50, 80$  кПа. а) Угол раскрытия конфузора  $40^\circ$ ; б) угол -  $60^\circ$ ; в) угол -  $80^\circ$ ; г) угол -  $160^\circ$ . Цветом обозначена

различная длина камеры смещения: голубой – 5 мм; красный – 10 мм; зеленый – 15 мм; синий – 20 мм; коричневый – 25 мм. Давление рабочего газа обозначено фигурами: □ – 30кПа; ○ – 50 кПа; Δ – 80 кПа.

### Выводы

Из выше представленных графиков видно, что:

- Независимо от вида конфузора длина камеры смещения равная 15 мм обеспечивает наилучшую характеристику СА.
- Конфузоры, начиная с наилучшей характеристики, можно разметить в следующем порядке: угол 60°, угол 80°, угол 160°, угол 40°.
- Конфузоры с углом раскрытия 40° и 60° обеспечивают наилучшую характеристику СА при положении сопла 4 мм. У конфузоров с

большим углом раскрытия наблюдается проявление зависимости наилучшего положения сопла от длины камеры смещения.

- С ростом рабочего давления наблюдается смещение характеристики в сторону низких коэффициентов инжекции, а также проявляется увеличение давления смеси.

Подводя итог, следует сказать, что наилучшую характеристику СА, не зависимо от рабочего давления, обеспечивает конфузор с углом раскрытия 60° при положении сопла равном 4 мм, и длиной камеры смещения - 15 мм.

### Литература

1. Шаманов Н.П., Калмыков А.П. Электрохимические транспортные энергоустановки с водородным топливом. – СПб.: СПбГМТУ, 2006. – 305 с.
2. Кровин Н. В., Новые электрохимические источники тока. – М.: Энергия, 1978. -184 с.
3. Fuel Cell Handbook, DOE/NETL-2014/1179. By EC&G Technical Services, Inc. Science Application International Corporation, U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory, Morgantown, West Virginia, 2014.
4. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.

### References

1. Shamanov N.P., Kalmykov A.P. Elektrokhimicheskie transportnye energoustanovki s vodorodnym toplivom. SPb.:SPbGMTU, 2006. 305 s.
2. Krovin N. V., Novye elektrokhimicheskie istochniki toka. M.: Energiya, 1978. 184 s.
3. Fuel Cell Handbook, DOE NETL-2014 1179. By EC&G Technical Services, Inc. Science Application International Corporation, U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory, Morgantown, West Virginia, 2014.
4. Sokolov E. Ya., Zinger N.M., Struynye apparaty. M.: Energoatomizdat, 1989. 352 s.



УДК 629.12.001.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ПРОХОДЕ СТОЯЩЕГО СУДНА В УСЛОВИЯХ ВСТРЕЧНОГО ТЕЧЕНИЯ И С УЧЕТОМ ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ

**Дмитрий Владимирович Никущенко**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теории корабля  
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет  
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3  
тел. +78124940998 e-mail: ndmitry@list.ru

**Анастасия Андреевна Зубова**

аспирантка кафедры теории корабля  
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет  
190008, Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3  
тел. +7 (911) 954-03-33 e-mail: anastasia.cr@gmail.com

### Аннотация

На сегодняшний день, классическая математическая модель движения судна состоит из уравнений движения, а информации о гидродинамических силах и моментах представляется в виде данных, собранных на основе экспериментальных исследований. В процессе изучения проблемы гидродинамического взаимодействия судов одним из основополагающих этапов является определение дополнительных сил и моментов, действующих на корпус судна в процессе этого взаимодействия и получение экспериментальных данных в данном случае сопряжено со значительным количеством трудностей при постановке эксперимента и обработке полученных данных. Исследования на основе моделей и методов ВГД (CFD) составляют менее исследованную, но в то же время перспективную группу, позволяющую упростить в известной степени процедуру получения необходимой информации.

В рамках данного исследования приведены некоторые результаты систематических расчетов частных случаев взаимодействия: движение судна в следе за корпусом судна-партнера и проход судна вблизи стоящего судна-партнера в условиях встречного течения. Полученные результаты могут представлять интерес с вычислительной и методологической точек зрения.

**Ключевые слова:** маневрирование, гидродинамическое взаимодействие судов, математическое моделирование, волнообразование, встречное течение, методы вычислительной гидродинамики, CFD, турбулентность, RANS.

## SHIP TO SHIP INTERACTION NUMERICAL MODELLING FOR THE PASSING SHIP AND CROSS CURRENT CONDITIONS INCLUDING WAVES

**Nikushchenko Dmitry Vladimirovich**

Professor, Dr.Sci.Tech., professor of the SHIP THEORY DEPARTMENT  
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG  
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation  
tel: +78124940998 e-mail: ndmitry@list.ru

**Zubova Anastasia Andreevna**

PhD student of the SHIP THEORY DEPARTMENT  
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG  
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation  
tel: +7 (911) 954-03-33 e-mail: anastasia.cr@gmail.com

## Abstract

Nowadays, classical mathematical model of the ship motion consists of motion equations and information about the hydrodynamic forces and moments acting on the hull is provided with the set of data resulting from the experimental model investigations in the towing tank. Considering the complex ship hydrodynamic interaction problem, obtaining forces and moments data is a significant part of the solution and experimental investigation. Here the problem appears to be time consuming and dedicated to a specific case regarding the method to be used to solve it. Same time, numerical modeling based on the computational fluid dynamics (CFD) presents the less researched, but perspective group of methods, allowing to simplify and decrease the time for receiving the hydrodynamics parameters information to the certain limits. Current investigation reports several results of systematic computations for the particular cases where the hydrodynamic interaction effects can influence the ship behavior: motion of the ship in the wake flow of the partner including the wave systems interactions and motion in the cross current conditions with different parameters. Results of the investigation can be interesting from the methodology and computation points of view.

**Key words** maneuvering, ship to ship interaction, mathematical models, wake flow, wave interaction, cross current, computational fluid dynamics, CFD, turbulence, RANS.

### Введение

Как было определено в ходе теоретических исследований, решение о гидродинамическом взаимодействии двух надводных судов с учетом волнообразования, создаваемое их корпусами, известными методами связано с существенными трудностями как методологического, так и вычислительного порядка [10,11,12]. К методам, позволяющим проводить реалистичное моделирование задачи взаимодействия судов, на сегодняшний день относится подход, основанный на потенциальной теории, позволяющий получать временные зависимости изменения сил и моментов и применении полученных результатов для имитационного моделирования движения судна в различных условиях. Данный подход широко применяется, так как позволяет получать данные в режиме реального времени, однако он обладает рядом недостатков, в частности, отсутствием возможности моделирования влияния волновой поверхности.

Таким образом, в рамках приведенного исследования для получения информации о действующих силах и моментах в процессе взаимодействия, был выбран подход, основывающийся на методах и моделях вычислительной гидродинамики ВГД (CFD), который позволяют значительно упростить задачу, так как численный эксперимент проводится в рамках компьютерного моделирования и не требует затрат на изготовление масштабной модели и проведение тестирования в условиях опытового бассейна. При этом так же отсутствуют ограничения потенциальной теории.

Согласно существующим рекомендациям [1,2], маневр обгон является наиболее потенциально опасной ситуацией в связи с характером и размерами гидродинамических сил и моментов, оказывающих влияние на поведение и управляемость судна. Учитывая особенности исследуемой проблемы гидродинамического взаимодействия, а именно зависимость поведения судна от характе-

ра взаимодействия полей давления и перераспределения их на корпусе, а так же в связи с тем, что характер волнообразования может оказывать влияние на направление движения судна, полученный результат представляет интерес с вычислительной и методологической точек зрения. Значение, вносимое в общее сопротивление судна волновой составляющей, в итоге, может оказывать влияние на скорость движения судна в процессе обгона, являющейся важной характеристикой взаимодействия как такового.

Обращаясь ко второй части исследования, влияния течения на характер взаимодействия, течение можно рассматривать как некоторую переносную скорость движения жидкости, в которой основное судно совершает относительное движение, а судно-цель не имеет собственной скорости. Характерными параметрами здесь являются скорость течения ( $V_{\text{теч}}$ ) и его направление ( $\alpha$ ): спутное или встречное течение; угол относительно траектории движения судна ( $\gamma_T$ ); скорость движения основного судна ( $V_2$ ); поперечное расстояние между судами ( $d$ ), соотношение основных размеров судов ( $L, B, T$ ).

С точки зрения взаимодействия, наличие течения может усиливать или снижать возникающие эффекты в процессе взаимодействия с учетом перераспределения давлений на корпусе судна. Полученные результаты могут представлять интерес для случая движения судна в условиях канала или реки при наличии стоящего на якоре судна, находящегося на удалении от границ области.

### 1. Задачи исследования

Настоящая работа направлена на изучение частного случая возникновения феномена гидродинамического взаимодействия при прохождении стоящего судна в условиях встречного течения под углом к направлению движения судна и дви-

жения судна в условиях неоднородного потока за корпусом другого судна. Исследование гидродинамических характеристик в указанных условиях подразумевает следующие аспекты:

1. качественная и количественная оценка возникающих на корпусе неподвижного судна-цели гидродинамических сил и моментов;
2. оценка влияния взаимодействия волновых систем судов;
3. оценка влияния направления потока в условиях взаимодействия.

## 2. Методы исследования

Движение вязкой несжимаемой жидкости в поле массовых сил описывается уравнениями Навье-Стокса, для замыкания системы используется уравнение неразрывности:

$$\rho \left( \frac{\delta \vec{v}}{\delta t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \vec{f} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0$$

Для корректной постановки задачи систему уравнений (1) необходимо дополнить начальными и граничными условиями. В качестве начальных условий может быть выбрано состояние покоя рассматриваемой динамической системы, или же обтекание системы потоком жидкости со скоростью. На твердых поверхностях, должно выполняться условие прилипания, на большом удалении от рассматриваемой системы должно выполняться условие отсутствия возмущений.

Моделирование движения тел судовой формы в потоке вязкой несжимаемой жидкости, как правило требует учитывать влияние турбулентного характера течения жидкости. С точки зрения математической постановки задачи, это приводит к решению осредненных по времени уравнений Навье-Стокса (RANS), содержащей заранее неизвестные компоненты тензора турбулентных напряжений. Для замыкания полученной системы уравнений О. Рейнольдса используются специальные реологические соотношения, называемые моделями турбулентности.

В рамках данной работы, применялся программный комплекс NUMECA FINE™/Marine реализующий двухпараметрические модели турбулентности различных модификаций в чистности:

- SST модель турбулентности: определяются коэффициенты модели в различных областях расчетной области и ограничиваются допустимые значения для турбулентной вязкости потока. В пристеночной области данный подход реализует модель Вилкокса (Wilcox), в общем потоке и непосредственно в переходной - стандартную k-ε модель в k-ω постановке [4];

В рамках более ранних исследований были произведены систематические расчеты гидродинамических характеристик судна (модель контейнерного судна KCS) с целью оценки качества полученных результатов и произведен сравнитель-

ный анализ результатов моделирования турбулентности с целью выявления наиболее адекватной для задачи гидродинамического взаимодействия судов модели. Частично полученные результаты приведены в [5], анализ основывается на данных, предложенных в опубликованных материалах Гетебургской Конференции, 2010 [6].

## 3. Результаты

### 3.1. Моделирование движения отсутствие от носительного продольного смещения судов: стационарное моделирование.

Моделирование стационарной задачи в рамках данного исследования производилось с целью оценки качества численного моделирования и настройки основных параметров расчета, а та же оценки характера взаимодействия в условиях сложения волновых систем судов. На данном этапе была использована модель контейнерного судна KCS в качестве основного судна и судна-цели с одинаковыми основными параметрами. С численной точки зрения, данная постановка задачи позволяет оценить скорость сходимости решения, качество пространственной дискретизации расчетной области и произвести исследование сеточной независимости решения. С физической точки зрения, задача соответствует одному из основных этапов взаимодействия, когда нос основного судна достигает кормовой оконечности судна-цели и возникают взаимодействие полей давления и интерференция волновых систем.

Задание системы координат имеет особое значение при моделировании движения нескольких объектов в условиях гидродинамического взаимодействия. В зависимости от направления осей координат, полученные данные будут иметь различное физическое значение в понятиях направления, смещения/вращения судна. Так, Ванторре и др. (2002) [7] предложили использовать систему координат, фиксированную на основном судне, при условии зависимости от положения судна-цели. Сутоло и др. [8] применяют систему координат, фиксированную на основном судне, не зависящую от положения судна-цели. В случае независимой системы координат возникает существенный недостаток: при неудачном взаимном расположении судов (например, в случае встречного расхождения), требуется трансформация координат. В рамках проведенных исследований анализ полученных результатов произведен в терминах связанной с основным судном системой координат:

X': продольная сила: положительное направление корма-нос судна;

Y': поперечная сила: положительное направление в сторону сближения бортов;

N': момент рыскания: нос судна отворачивает в сторону от целевого судна партнера.

В некоторых расчетных случаях использовались фиксированные для каждого судна системы координат с одинаковыми направлениями осей,

начало координат совпадало с координатами центра тяжести судна. Таким образом, при рассмотрении результатов для обоих судов знаки для поперечной составляющей ( $Y'$ ) и вращающего момента ( $N'$ ) имеют противоположные значения: отрицательное значение для основного судна – смещение в противоположную сторону целевого, тогда как для целевого судна отрицательное значение ( $Y'$ ) – смещение в сторону основного. Аналогичное поведение будет и в случае вращающего момента.

Основные параметры модели корпуса судна:

- $L_{max}=7,357 \text{ м}$
- $B=1.019 \text{ м}$
- $T=0.34177 \text{ м}$
- Центр тяжести (COG):  $(-11.7; 0, -0.115), \text{ м}$

Условия численного эксперимента:

- Поперечное расстояние между центральными линиями корпусов судов ( $d$ ):

$$L_{ref} = L_{max} = 7.357 \text{ м}$$

$$L_1 = L_2 = L_{max}$$

- Общее число расчетных узлов: 459799, 4081429, 6693286 .

- Скорость движения:  $V_{ref}=2.21 \text{ м/с}$

- Число Фруда:  $Fr=0.26$

- Модель турбулентности:  $SST \text{ } k-\omega$

Условия моделирования влияния свободной поверхности:

- Динамическая вязкость( $\mu$ ):  $1.0122 \text{ (Hc/м}^2\text{)} * 10^{-3}$

- Плотность жидкости ( $\rho$ ):  $999.1 \text{ кг/м}^3$

- Безграничная жидкость

- Временной шаг  $0.01 \text{ с}$

Сеточное исследование показало отсутствие зависимости численного решения для дискретизации расчетной области выше 6,7 млн ячеек.

На рисунке 1 приводится картина волнообразования при значении числа Фруда 0.26. Следует отметить, что наблюдается развитая установившаяся система носовой и кормовой групп волн, а так же интерференция систем судна-цели и основного:

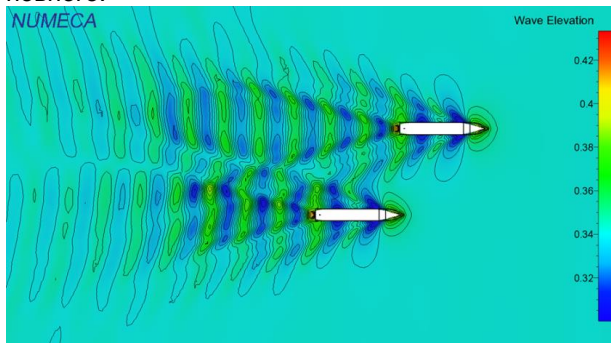


Рис. 1. Картина волнообразования взаимодействующих судов: установившееся движение,  $Fr=0.26$ .

Полученные результаты позволяют судить о следующем:

- расчет с учетом взаимодействия судов в сравнении с результатами для изолированного корпуса указал на качественное и количественное изменение картины течения в кормовой оконечно-

сти вовлеченных во взаимодействие судов. Для обоих судов наблюдается увеличение интенсивности вихреобразования и асимметричность потока, связанная, очевидно, со взаимным влиянием в области между судами;

- для обгоняющего основного судна, наблюдаемая интерференция волновых систем приводит к несимметричной относительно диаметральной плоскости (ДП) судна системе.

3.2. Моделирование гидродинамического взаимодействия судов

При движении судна в условиях течения последнее может оказывать значительное влияние на траекторию судна [9]. Изменение скорости и направления течения являются по сути нестационарными и нерегулярными процессами, однако вследствие медленного изменения этих параметров, при расчетной оценке движения судна они могут приниматься постоянными.

Таким образом, если судно движется с постоянной скоростью ( $V_0$ ) при прямолинейном равномерном течении относительно неподвижной системы координат, проекции скорости судна относительно воды на оси определяются следующим образом:

$$V_x = V_{x0} + V_{\text{теч}} \cos(\gamma_T + \alpha) \quad (2)$$

$$V_y = V_{y0} + V_{\text{теч}} \sin(\gamma_T + \alpha)$$

С физической точки зрения, в приведенных условиях, влияние морского течения сводится к переносу движущегося произвольным образом судна со скоростью течения. Характер действия сил не отличается в данном случае, однако значение может иметь угол направления потока к траектории движения судна, оказывающий влияние на распределение давлений на корпусе судна.

Условия численного эксперимента:

- Поперечное расстояние между центральными линиями корпусов судов ( $d$ ):

$$L_{ref} = 0.5 L_{max}$$

$$L_1 = L_2 = L_{max}$$

- Общее число расчетных узлов: 6693286 .

-  $V_1=0 \text{ м/с}; V_2=2 \text{ м/с}; V_{\text{теч}}=-2 \text{ м/с}$

- Направление встречного течения:

- Число Фруда:  $Fr_{max}=0.235$

- Модель турбулентности:  $SST \text{ } k-\omega$

Условия моделирования влияния свободной поверхности:

- Динамическая вязкость( $\mu$ ):  $1.0122 \text{ (Hc/м}^2\text{)} * 10^{-3}$

- Плотность жидкости ( $\rho$ ):  $999.1 \text{ кг/м}^3$

- Безграничная жидкость

- Временной шаг  $0.01 \text{ с}$

Оценка полученных результатов основывается на анализе характера изменения возникающих сил и моментов на корпусе стоящего судна-цели. Значения сил и моментов приведены в размерном виде. Для сравнения на графиках так же пред-

ставлены результаты для обгоняющего основного судна (далее на Рис. 2,3,4) тонкой линией обозначены результаты для основного обгоняющего судна).

В данном случае использовались фиксированные для каждого судна системы координат с одинаковыми направлениями осей, начало координат совпадало с координатами центра тяжести судна.

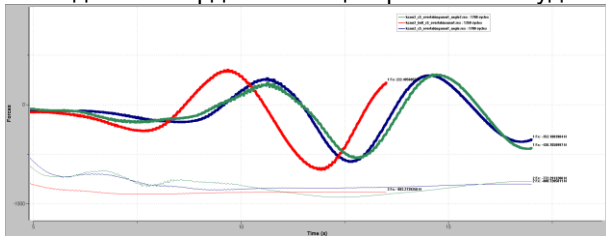


Рис. 2. Продольная сила ( $F_x$ ) на корпусе судна-цели (BD1) при фиксированном поперечном расстоянии  $d=0.5L$  и разных значениях угла набегающего потока:  $5^\circ$  (синий),  $7^\circ$  (зеленый),  $0^\circ$  (красный).

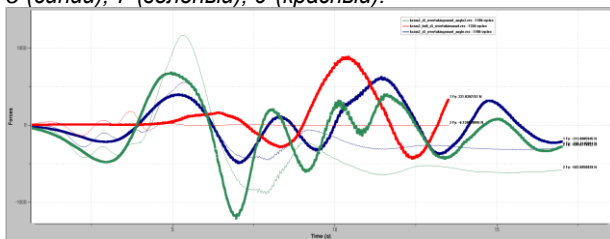


Рис. 3. Боковая сила ( $F_y$ ) на корпусе судна-цели (BD1) при фиксированном поперечном расстоянии  $d=0.5L$  и разных значениях угла набегающего потока:  $5^\circ$  (синий),  $7^\circ$  (зеленый),  $0^\circ$  (красный).

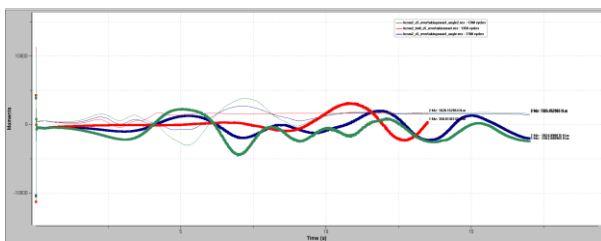


Рис. 4. Вращающий момент ( $M_z$ ) на корпусе судна-цели (BD1) при фиксированном поперечном расстоянии  $d=0.5L$  и разных значениях угла набегающего потока:  $5^\circ$  (синий),  $7^\circ$  (зеленый),  $0^\circ$  (красный).

По результатам проведенного численного эксперимента можно судить о следующем:

- изменение продольной силы при различных углах встречного потока носит сходный характер для всех значений углов как в случае судна-цели, так и основного судна; характер действующих сил для изолированного корпуса судна не зависит от угла направления потока. Аналогичная картина наблюдается и для случая гидродинамического взаимодействия судов;

- для боковой силы картина носит менее однозначный характер: для значений угла  $5^\circ$  и  $7^\circ$  наблюдается два пиковых значения, в отличие от одного максимума для значения угла потока  $0^\circ$ . Для основного судна наибольшее изменение воз-

никающей боковой силы наблюдается при подходе судна к стоящему судну-цели, в то время как судно-цель испытывает влияние в наибольшей степени после того, как корма судна-партнера достигает его миделевого сечения. Можно предположить, что в данном случае наибольшее влияние оказывает спутный поток за корпусом для обоих судов. Относительно влияния угла встречного потока, можно сделать вывод о том, что оно выражается в менее стабильном изменении действующей боковой силы, особенно для судна-цели;

- изменения вращающего момента имеет сходный с боковой силой характер, однако для судна-цели более схожее изменение наблюдается для  $0^\circ$  и  $5^\circ$ . Присутствует четко выраженный максимум значения, в то время как при  $7^\circ$  наблюдается 2 максимальных значения. Однако момент возникновения наибольших колебаний, как и в случае боковой силы, возникает после прохождения основным судном миделевого сечения судна-цели.

## Выводы

На основе произведенного качественного и количественного анализа результатов, на примере параграфа 3 и по итогам общего исследования были сделаны следующие заключения:

1. моделирование стационарной задачи позволяет произвести настройку расчетных параметров моделирования взаимодействующих судов и качественно оценить результаты;
2. моделирование волнообразования в рамках методов ВГД (CFD) позволяет судить о поведении судна в условиях движения в следе судна-цели, что является ограничением для численных подходов потенциальной теории;
3. моделирование задачи взаимодействия требует более высокой степени дискретизации расчетной области в области за корпусом судна и непосредственно между корпусами;
4. определение положения системы координат оказывает влияние на полученные результаты и указывает на необходимость определения системы знаков для последующего анализа результатов;
5. угол и направление течения оказывают влияние на характер движения судна, однако в рамках гидродинамического взаимодействия при рассмотренных малых значениях углов набегающего потока, влияние не имеет критического характера. Однако, для более подробного изучения движения судна в реках и каналах различного профиля, при проходе криволинейных участков реки и присутствии стоящего судна, характер течения является более сложным, и наиболее вероятно будет оказывать более значительное влияние на гидродинамическое взаимодействие в целом. Приведенная постановка задачи является объектом для отдельного исследования.

6. моделирование набегающего потока в обратной постановке для судна-цели при наличии движущегося основного и моделирование движения в прямой постановке не имеет затруднений и полученные результаты имеют аналогичные значения;
7. на сегодняшний день в основном доступны результаты исследований, проведенных для стационарного обтекания, что дает лишь общую картину и глобальный характер действующих сил и моментов. В связи с ограниченным количеством имеющихся экспериментальных исследований, проверка и оценка точности численных результатов является затруднитель-

ной: узкий спектр исследованных тел и влияющих параметров;

### Методы исследования

К обсуждению могут быть вынесены следующие вопросы:

- применение технологии скользящих вычислительных доменов и влияние на точность полученных результатов;
- моделирование задачи влияния направления встречного течения при различных значениях поперечного расстояния между судами;
- процедура получения безразмерных коэффициентов сил и момента гидродинамического взаимодействия

### Литература

1. Convention on the International Preventing Collisions at Sea (COLREG), IMO, 1972, Available on Internet: [http://www.imo.org/Conventions/mainframe.asp?topic\\_id=260A.N](http://www.imo.org/Conventions/mainframe.asp?topic_id=260A.N). Cockroft and J.N.F. Lameijer, A guide to the collision avoidance rules, (1972)
2. Международные правила предупреждения столкновения судов (МППСС-72)
3. Proceedings of 26th ITTC – Volume I, The Resistance Committee Final Report and Recommendations to the 26th ITTC,(2011).
4. NUMECA FINE™/Marine v3.1 Documentation.
5. А.А. Зубова, Моделирование гидродинамического взаимодействия судов на основе методов вычислительной гидродинамики, Морские интеллектуальные технологии, Научный журнал № 4 (26) Т.2, с 60-66, (2014)
6. L. Larsson, F. Stern, and M. Visonneau, A Workshop on Numerical Ship Hydrodynamics Proceedings, vol. 2, Gothenburg, Sweden, (2010).
7. Vantorre, M., Laforce, E., and Verzhbitskaya, E., 2001, "Model test based formulations of ship ship interaction forces for simulation purposes", IMSF - 28th Annual General Meeting, Genova, Italy
8. J. M. Fonfach, S. Sutulo, Numerical Study of the Hydrodynamic Interaction between Ships in Viscous and Inviscid flow, Proceedings of the 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, (2011)
9. Г.В. Соболев, Управляемость корабля –Л.: ЛКИ, 480 с,(1959).
10. Ю.М. Мастушкин, Гидродинамическое взаимодействие судов при встречах и обгонах, Судостроение, (1987).
11. I.W. DAND, Some measurements of interaction between ship models passing on parallel courses, Nat. Maritime Inst. Report R 108, (1981).
12. Newton, R. N., 'Some notes on interaction effects between ships close aboard in deep water', David Taylor Model Basin, Hydromechanics Laboratory, Washington D.C., USA, Rep. 1461, (1969).

### References

1. Convention on the International Preventing Collisions at Sea (COLREG), IMO, 1972, Available on Internet: [http://www.imo.org/Conventions/mainframe.asp?topic\\_id=260A.N](http://www.imo.org/Conventions/mainframe.asp?topic_id=260A.N). Cockroft and J.N.F. Lameijer, A guide to the collision avoidance rules, (1972)
2. Megdunarodnie pravila predupregdenija stolknovenija sudov (MPPSS-72)
3. Proceedings of 26th ITTC – Volume I, The Resistance Committee Final Report and Recommendations to the 26th ITTC,(2011).
4. NUMECA FINE™/Marine v3.1 Documentation.



5. A. Zubova, Numerical Modelling of the Ship to Ship Interaction with the use of Computational Fluid Dynamics Methods, Моделирование, Marine Intellectual technologies, Scientific journal № 4 (26) Т.2, p 60-66, (2014)
6. L. Larsson, F. Stern, and M. Visonneau, A Workshop on Numerical Ship Hydrodynamics Proceedings, vol. 2, Gothenburg, Sweden, (2010).
7. Vantorre, M., Laforce, E., and Verzhbitskaya, E., 2001, "Model test based formulations of ship ship interaction forces for simulation purposes", IMSF - 28th Annual General Meeting, Genova, Italy
8. J. M. Fonfach, S. Sutulo, Numerical Study of the Hydrodynamic Interaction between Ships in Viscous and Inviscid flow, Proceedings of the 2nd International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water: Ship to Ship Interaction, Conference Proceedings. Royal Institution of Naval Architects, (2011)
9. Sobolev G.V., Upravlyaemost korablya. - L.: LKI, 1959.-480 s.
10. U.M. Mastushkin, Gidrodinamicheskoe vzaimodejstvie sudov pri vstrechah i obgonah , Sudostroenie, (1987)
11. I.W. DAND, Some measurements of interaction between ship models passing on parallel courses, Nat. Maritime Inst. Report R 108, (1981).
12. Newton, R. N., 'Some notes on interaction effects between ships close aboard in deep water', David Taylor Model Basin, Hydromechanics Laboratory, Washington D.C., USA, Rep. 1461, (1969).





Научный журнал  
**МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
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 – инструкция прилагается ниже
3. Акт экспертизы на открытую публикацию (при необходимости)
4. Лицензионный договор

Перечисленные документы (кроме акта экспертизы) могут быть переданы в редакцию по электронной почте по адресу [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru) (по этому же адресу осуществляется текущая переписка с редакцией).

По желанию авторов, документ 1 в бумажной версии и компакт-диск с документами 2 и 3 могут быть либо присланы по почте в адрес редакции, либо доставлены непосредственно в редакцию, либо переданы одному из членов редколлегии. Оригинал акта экспертизы должен быть либо прислан по почте в адрес редакции, либо доставлен непосредственно в редакцию, либо переданы одному из членов редколлегии.

**На страницах журнала публикуются новые научные разработки, новые результаты исследований, новые методы, методики и технологии в области кораблестроения, информатики, вычислительной техники и управления. Это является основным требованием к статьям.**

Каждая статья, принятая редколлегией для рассмотрения, проходит также внутреннюю процедуру рецензирования. По результатам рецензирования статья может быть либо отклонена, либо отослана автору на доработку, либо принята к публикации. Рецензентом может быть специалист по профилю статьи с ученой степенью не ниже кандидата наук.

Редколлегия не вступает с авторами в обсуждение соответствия их статей тематике журнала. **Журнал публикуется в цветном варианте.**

**Плата с аспиранта в случае, если он является единственным автором, за публикацию статьи не взимается.**

**Стоимость публикации 8500 рублей по выставяемому по запросу счету.**

Авторы несут ответственность за содержание статьи и за сам факт ее публикации. Редакция журнала не несет ответственности за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи. Если публикация статьи повлекла нарушение чьих-либо прав или общепринятых норм научной этики, то редакция журнала вправе изъять опубликованную статью.

Главный редактор научного журнала  
**"МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"**

д.т.н. проф. Никитин Н.В.

УДК 629.12.001.2

## ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ для научного журнала "МОРские ИНтеллектуальные ТЕХнологии"

**Никитин Николай Васильевич**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования судов  
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет  
190008, Санкт-Петербург, ул. Лощманская, 3  
e-mail: morintex\_spb@mail.ru

### Аннотация

В работе предлагаются правила оформления статей для научного журнала «Морские интеллектуальные технологии» в текстовом процессоре MS Word 97-2003 по требованиям для публикации в научном журнале ВАК, а также международных реферативных баз данных Scopus и Web of Science. Инструкция представляет собой специальную заготовку, которая служит базисом для создания конкретной статьи.

Аннотация предоставляется авторами в расширенном виде. Объем: не менее 950 и не более 1800 знаков (с пробелами), то есть 100-250 слов. В аннотации должны быть четко определены цель работы, ее новизна, представлены основные выводы. Языки – русский и английский.

Типичная структура аннотации: состояние вопроса; материалы и/или методы исследования, результаты; заключение.

Методы в аннотации только называются. Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и выводам, которые, по мнению автора статьи, имеют практическое значение. Следует указать пределы точности и надёжности данных, а также степень их обоснования. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, описанными в статье.

**Ключевые слова:** Список ключевых слов должен характеризовать предметную область исследования. Недопустимо использование терминов общего характера (например, проблема, решение), не являющихся специфической характеристикой публикации. Количество ключевых слов должно быть 8-10.

## GUIDELINES FOR PREPARATION OF ARTICLES FOR THE ACADEMIC PERIODICAL «MARINE INTELLIGENCE TECHNOLOGIES»

**Nikitin Nikolay Vasilevich**

the professor, Dr.Sci.Tech., the professor of DEPARTMENT OF SHIP DESIGN  
STATE MARINE TECHNICAL UNIVERSITY OF SAINT-PETERSBURG  
Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg 190008, Russian Federation  
e-mail: morintex\_spb@mail.ru

### Abstract

The paper suggests rules for formatting articles to be submitted for the "Maritime Smart Technologies" academic periodical in the MS Word Processor 97-2003 according to the requirements set out for publication in an academic periodical of the State Commission for Academic Degrees and Titles as well as in the international Scopus and Web of Science bibliographic databases. The guidelines represent a special template which serves as a basis for creation of a certain article.

The authors should submit an extended abstract. The abstract should contain minimum 950 and maximum 1800 characters (including spaces), i. e. 100–250 words. The abstract must cover the objective and novelty of the paper and reflect the main conclusions. The languages of the abstract should be Russian and English.

The standard structure of an abstract is as follows: the state-of-the-art summary; data for study and/or research techniques; findings; conclusion.

The techniques should only be mentioned in the abstract. The findings should be described as accurately and informatively as possible. The major theoretical and experimental results, actual data, discovered interrelations and common factors should be reflected. Still new results and conclusions which, from the author's point of view, are of practical importance are put above. The data accuracy and reliability limits as well as the degree of their verification should be indicated. The conclusions can be accompanied by recommendations, estimations, suggestions described in the article.

**Key words:** The list of key words must be specific for the subject field of the investigation. General terms (e. g. problem, solution) which are not specific for this publication are inadmissible. The key words should amount to 8–10.

### Введение

При подготовке статей у авторов нередко возникают трудности, связанные с необходимостью жестко выдерживать требуемые форматы подготовки текстов.

Вместе с тем, в современных текстовых процессорах существуют развитые средства поддержки общезначимых и специализированных шаблонов, автоматизирующих эту деятельность. Учитывая вышесказанное, автор данной инструкции подготовил специализированный шаблон создания *camera ready* текстов статей, представляемых в редакцию.

Данная инструкция не обычный текст, а заготовка, которую авторы работ, представляемых в журнал, должны редактировать для получения качественных текстов статей.

**Обращаясь к авторам, редакция журнала доводит до их сведения требования к оформлению статей. Суть их сводится к тому, что, с одной стороны, предоставленная авторами информация должна быть интересной и понятной международному научному сообществу без обращения к полному тексту статьи. а с другой – должны быть обеспечены возможности контекстного поиска и аналитической обработки данных.**

**Фамилии авторов** должны быть транслитерированы, или указаны так же, как в ранее опубликованных в зарубежных журналах статьях. Должны быть представлены адресные сведения о месте работы авторов, должность, ученая степень и ученое звание.

Название организации переводится на английский язык без составных частей названий организаций, обозначающих принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации с указанием полного юридического адреса в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна. Наиболее полный список названий учреждений и их официальной англоязычной версии можно найти на сайте НЭБ [eLibrary.ru](http://eLibrary.ru). Название статьи, ключевые слова и аннотация также переводятся на английский язык. Все переводы должны быть высококачественными.

**Название статьи** должно быть информативным, можно использовать только общепринятые в международном научном общении сокращения. В переводе названия недопустимы транслитерации с русского языка, кроме неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также неперебиваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Англоязычное название должно быть грамотно с точки зрения английского языка, при этом по смыслу полностью соответствовать русскоязычному названию.

Обращаем внимание авторов на необходимость обеспечить высокое профессиональное качество перевода на английский язык. Автоматизированный перевод с помощью программных систем категорически запрещается! При обнаружении экспертом Редакции низкого качества перевода статья отклоняется!

Возможности систем SCOPUS и Web of Science позволяют проводить исследования: по ссылкам, оценивать значение и признание работ конкретных авторов, научный уровень журналов, организаций и стран в целом, определять актуальность научных направлений и проблем, выявлять их точки роста и падения и т.д. Ссылка на публикацию в научной статье является одним из главных показателей качества публикации. А статья с представительным списком литературы демонстрирует профессиональный кругозор и качественный уровень исследований ее авторов

Полный текст должен быть структурированным по разделам. Структура полного текста рукописи, посвященной описанию результатов оригинальных исследований, должна соответствовать общепринятому шаблону и содержать разделы: введение (актуальность), цель и задачи, материалы и методы, результаты, выводы, обсуждение (дискуссия).

### 1. Инсталляция заготовки Mor-Inst

Вы получили по электронной почте (или некоторым другим способом) файл **Mor-Inst.doc** и

должны использовать его на своем текстовом процессоре MS Word 97-2003.

Для того, чтобы начать работу необходимо: скопировать на Ваш компьютер файл **Mor-Inst.doc**, переименовав его под фамилией первого автора (например, **nikitin.doc**).

После выполнения этих действий Ваш текстовый процессор MS Word 97-2003 готов для создания документа в формате *camera ready* для оформления номера.

## 2 Начало работы с заготовкой Mor-Inst

Итак, предположим, что Вы скопировали заготовку **Mor-Inst.doc** для своего текстового процессора MS Word 97-2003, как это определено в предыдущем разделе данной инструкции.

Теперь, после вызова текстового процессора MS Word 97-2003, из опции основного меню **File (Файл)** выбирайте подопцию **Open (Открыть)**, а на приглашение выбрать файл отметьте **nikitin.doc** и нажмите клавишу **OK**.

После этого Ваш текстовый процессор откроет документ с данной заготовкой, который существенно облегчит Вашу дальнейшую работу.

Дальнейшая подготовка статьи очень похожа на редактирование "чужого" текста и преобразование его к виду, когда он станет Вашим.

В оставшейся части настоящей инструкции последовательно обсуждаются все основные элементы, которые могут потребоваться при подготовке Вашей статьи.

Обратите внимание на то, что сами элементы заготовки уже выбраны таким образом, чтобы Ваша будущая статья удовлетворяла всем требованиям оформления *camera ready* текстов для публикации в журнале.

## 3. Основные правила подготовки статей на базе шаблона Mor-Inst

### 3.1. Общие замечания по объему и формату статьи

По решению редакции объемы принимаемых к публикации материалов должны отвечать следующим ограничениям

- объем статьи должен быть не более 5 стр.;

- текст доклада должен укладываться в целое число страниц.

Все материалы должны быть сформатированы для последующей печати на стандартных листах формата А4 со следующим **Layout (Параметрами страницы)** (рис. 1).

Основной текст набирается в **2 колонки**, промежуток между колонками **0,7 мм**; ширина колонки **7,9 мм**.

**Нумерация страниц** подготавливаемой работы не производится.

Каждая статья должна быть организована следующим образом (данный *sample* сам является примером нужной организации текста статьи):

– УДК.

– Заголовок работы.

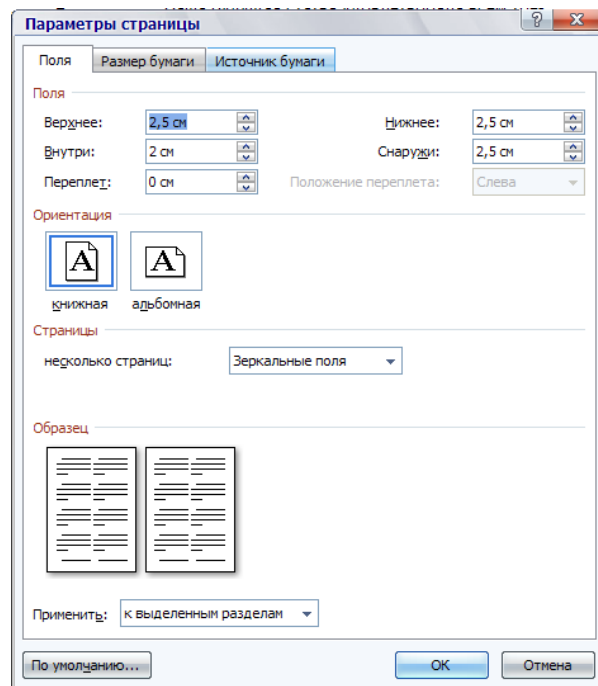


Рис. 1. Общий Layout страницы

– Имя (полностью), Отчество (полностью), Фамилия (полностью).

– Ученое звание и ученая степень (полностью).

– Должность, организация.

– Адрес автора (телефон и электронный адрес, если имеется).

– Если авторов несколько, их фамилии упорядочиваются по алфавиту.

– Аннотация работы (не менее 950 и не более 1800 знаков (с пробелами), то есть 100-250 слов).

– Ключевые слова (8-10).

– Разделы и подразделы основного текста (нумерация сквозная арабскими цифрами у разделов и номер раздела + нумерация сквозная арабскими цифрами у данного подраздела; номер раздела и номер подраздела отделяются друг от друга точкой; после номера раздела (подраздела) ставится точка, а название раздела (подраздела) начинается с заглавной буквы, после заголовков точка не ставится).

– В конце работы (перед списком литературы) может быть нумерованный раздел **Благодарности**, где, как правило, указываются спонсоры (например, номер гранта РФФИ) данной работы.

– Список использованных источников, собранных в нумерованном разделе **Литература** – После списка литературы размещается список литературы в романском алфавите в нумерованном разделе **References**

– Все заголовки разделов и подразделов центрируются.

– Ссылки на литературу в тексте работы заключаются в квадратные скобки и даются сквозной нумерацией арабскими цифрами.

**Заголовок работы, ФИО, ученое звание, ученая степень, должность, организация, адрес авторов (телефон и электронный адрес, если имеется), аннотация работы и ключевые слова публикуются на русском и английском языках.**

**3.2. Шрифты, используемые при подготовке статьи**

Все шрифты, используемые при подготовке статьи, выбираются из набора **Arial**. Если Вы пользуетесь данным sampler'ом, все размеры будут выставлены правильно и Вам останется только следовать им. Если же Вы пользуетесь твердой копией данного sampler'a, то используйте следующие размеры шрифтов:

- для названия статьи **Arial 13 прописной, жирный**;
- для УДК и идентификации автора (ов) статьи **Arial 9 курсив**;
- для адреса (ов) автора (ов) статьи **Arial 9**;
- для аннотации **Arial 9, границы текста +10 мм слева и -10 мм справа**;
- для текста статьи **Arial 9,5, абзацный отступ 5 мм**;
- для списка литературы **Arial 10,5, жирный, по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;
- для заголовков разделов статьи **Arial 10,5, жирный по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;
- для заголовков подразделов статьи **Arial 9,5, курсив по центру, интервал сверху 12 пт, снизу 4 пт, абзацный отступ 0**;
- для подрисуночных подписей **Arial 8,5, курсив, по центру, интервал сверху 4 пт, снизу 9,5 пт, абзацный отступ 0**;
- для подстраничных ссылок **Arial 8,5, абзацный отступ 0,5**.

**3.3. Использование графического материала**

В работе допускается использование рисунков, схем, экранных форм и др. графических материалов (обратите внимание на то, чтобы рисунки сохранялись как **цветные** или **черно-белые картинки**) как **внедренных объектов**<sup>1</sup>. Каждое графическое изображение должно представлять собой **единый, цельный объект**.

По возможности используйте для графического материала минимально требуемое разрешение. Это существенно уменьшает объем пересылаемого материала.

Во всех случаях обращайтесь внимание на то, чтобы текстовые подписи на рисунках были набраны с использованием тех же шрифтов, что и основной текст и меньшим размером.

<sup>1</sup> Статьи с рисунками, нарисованными в тексте документа с помощью панели "Рисование" MS Word 97-2003, рассматриваются редакцией в индивидуальном порядке по согласованию с авторами статей.

**3.4. Использование таблиц**

В работе допускается использование таблиц, подготовленных стандартными средствами MS Word 97-2003. В качестве примера ниже дается представление таблицы, подготовленной с помощью этих средств (табл. 1).

Таблица набирается меньшим кеглем.

Слово таблица **Arial 8,5, курсив, вправо, абзацный отступ 0**.

Название таблицы **Arial 8,5, жирный, по центру, интервал снизу 4 пт, абзацный отступ 0**.

Текст в таблице **Arial 8,5**.

Таблица 1

Пример таблицы

N/N	Колонка-1	Колонка-2	Колонка-3	Колонка-4
1.	фффф	ыыыы	111	Ммм
2.	фффф	ыыыы	111	Ммм
3.	фффф	ыыыы	111	Ммм
4.	фффф	ыыыы	111	Ммм

Перед и после таблицы одна пустая строка основного текста.

**ФОРМУЛЫ И РИСУНКИ НЕ РАЗМЕЩАТЬ В ТАБЛИЦЕ!!!**

**3.5. Использование формул**

В работе допускается использование формул любой сложности, поддерживаемых компонентой MS Equation.

Если формула появляется в тексте как отдельная строка, она должна быть центрирована и, при необходимости, помечена сквозной нумерацией арабскими цифрами в круглых скобках. Если формула появляется внутри текста, обращайте внимание на размеры используемых шрифтов, чтобы они были «состыкованы» с размерами текста работы.

Ниже приводятся примеры формул в тексте и в отдельной строке.

Данный пример иллюстрирует использование формулы в тексте  $\sum_{n=1}^{n=K} X_n^k \cdot 1,25$ . Здесь при подготовке формулы использованы установки шрифтов by default (по умолчанию). По возможности, пользуйтесь этим способом для подготовки не только формул в тексте статьи, но формул в отдельной строке (1).

$$\forall x \in [a, b] F(x) \leq \infty \quad (1)$$

Все формулы набираются тем же шрифтом, что и основной текст.

**ФОРМУЛЫ НЕ СОХРАНЯТЬ КАК РИСУНОК!!!**

Если же это, по каким-либо причинам неудобно и/или невозможно, воспользуйтесь установками, приведенными на рис. 2.

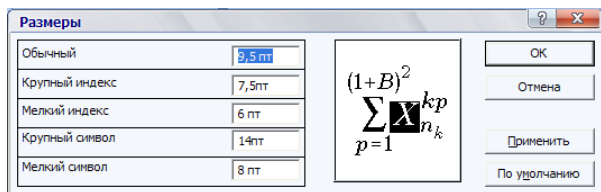
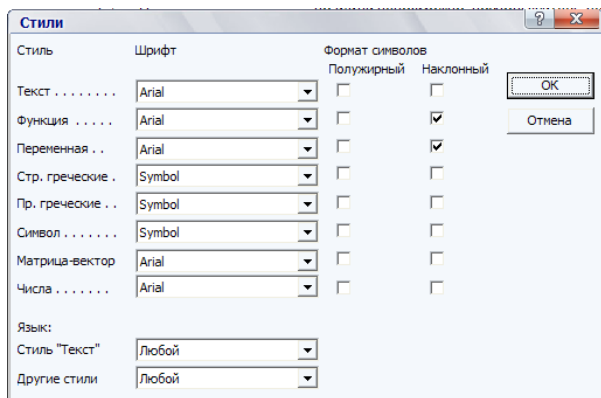


Рис. 2. Установки шрифтов и размеров в MS Equation

Обратите внимание на то, что при наборе формул в тексте, возможно изменение «интервальности». Не бойтесь этого и не пытайтесь уменьшить размер используемого шрифта до нечитаемого уровня. Аналогичное замечание справедливо и для формул, располагаемых в отдельной строке.

3.6. Размещение элементов текста на две колонки

Если таблицы, формулы, рисунки превышают размер одной колонки, то их размещают на **полный формат** (на 2 две колонки).

При этом сохраняются все требования по шрифтам и размерам к этим элементам, когда они набраны на формат одной колонки.

4. Заключительные замечания

Автор данной инструкции руководствовался единственной целью – уменьшить авторам сложность подготовки статей для журнала.

Таблица 2

Пример таблицы на полный формат

N/N	Колонка-1	Колонка-2	Колонка-3	Колонка-4	Колонка-5
1.	фффф	ьыыы	111	mmm	тттт
2.	фффф	ьыыы	111	mmm	тттт
3.	фффф	ьыыы	111	mmm	тттт
4.	фффф	ьыыы	111	mmm	тттт

Пример формулы на полный формат:

$$N_y(t) = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left[ \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R} + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{\partial w_0}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} \right] = \frac{Eh}{1-\mu^2} \xi(t). \tag{2}$$

Пример рисунка на полный формат:

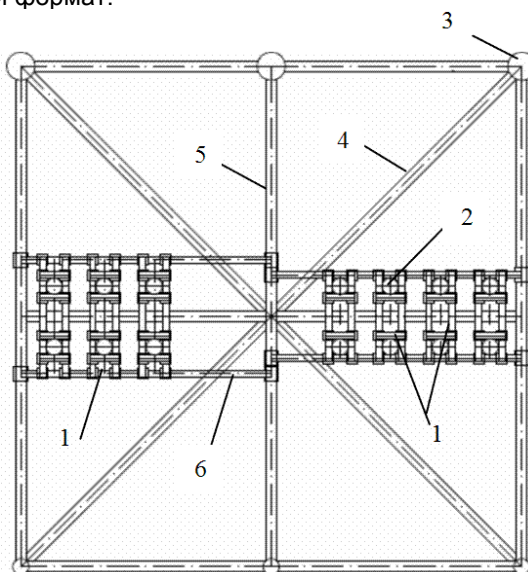


Рис. 3. Раскрепление водоотделяющих колонн с помощью жестких рам (вид в плане на диафрагму МСП): 1 – жесткие рамы; 2 – водоотделяющие колонны; 3 – вертикальные стойки опорного блока; 4 – раскосы опорного блока; 5 – распорка опорного блока; 6 – фундамент жесткой рамы

**Дополнительная информация (на русском, английском или обоих языках)**

Информация о спонсорстве. Необходимо указывать источник финансирования как научной работы, так и процесса публикации статьи (фонд, коммерческая или государственная организация и др.). Указывать размер финансирования не требуется.

Благодарности. Авторы могут выразить благодарности людям и организациям, способствовавшим публикации статьи в журнале, но не являющимся её авторами.

**Литература и References пишутся в одну колонку без переносов****Литература**

В библиографии (пристатейном списке литературы) каждый источник следует помещать с новой строки под порядковым номером. Список литературы должен быть оформлен по ГОСТ Р 7.05-2008.

**References**

Список литературы на русском языке должен быть представлен и в романском алфавите (латинице), то есть, транслитерирован, (транслитерация – это побуквенная передача текста, написанного с помощью русского алфавита, средствами латинского алфавита), список литературы на других языках должен быть приведен на языке оригинала.

Вся транслитерация списка литературы должна быть выполнена в соответствии с системой Госдепартамента США, которая в настоящее время является наиболее распространенной.

Автоматизировать процесс транслитерации можно, воспользовавшись программным обеспечением, которое доступно по адресу [www.translit.ru](http://www.translit.ru) (в раскрывающемся списке «Варианты» выбираем вариант BGN).

**Транслитерированная литература должна быть сформатирована следующим образом.**

Структура библиографической ссылки на статью:

**Author, A. A., Author, B. B., & Author, C. C. (2005).**

**Title of article. Title of Journal, 10(2), 49-53.**

**Материалы конференций:**

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi" (Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact"). Moscow, 2007, pp. 267-272.

**Книги (монографии, сборники, материалы конференций в целом):**

Belaya kniga po nanotekhnologiyam: issledovaniya v oblasti nanochastits, nanostruktur i nanokompozitov v Rossiiskoi Federatsii (po materialam Pervogo Vserossiiskogo soveshchaniya uchenykh, inzhenerov i proizvoditelei v oblasti nanotekhnologii [White Book in Nanotechnologies: Studies in the Field of Nanoparticles, Nanostructures and Nanocomposites in the Russian Federation: Proceedings of the First All-Russian Conference of Scientists, Engineers and Manufacturers in the Field of Nanotechnology]. Moscow, LKI, 2007.

Nenashev M.F. Poslednee pravitel'stvo SSSR [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

From disaster to rebirth: the causes and consequences of the destruction of the Soviet Union [Ot katastrofy k vrozozhdeniju: prichiny i posledstviya razrusheniya SSSR]. Moscow, HSE Publ., 1999. 381 p.

Kanevskaya R.D. Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov (Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development). Izhevsk, 2002. 140 p.

Latyshev, V.N., Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye

**Ни в одном из зарубежных стандартов на библиографические записи не используются разделительные знаки, применяемые в российском ГОСТе («//» и «-»). Название источника и выходные данные отделяются от авторов и заглавия статьи типом шрифта, чаще всего, курсивом (italics), точкой или запятой.**



## Шаблон для сопроводительного письма авторов

В редакцию журнала  
" МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ "

190008 г.

Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

### СОПРОВОДИТЕЛЬНОЕ ПИСЬМО

Просим опубликовать в журнале " МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ " статью <заголовок статьи>.

Авторами статьи являются <перечень Ф.И.О. авторов полностью>.

Работа выполнена в <полное и сокращенное название учреждения (учреждений)>.

Текущую переписку по вопросам публикации статьи следует вести с <Фамилия И.О.>.

Координаты для обратной связи:

1. Почтовый адрес (с индексом)

2. E-mail

3. Тел. служебный и домашний (с кодом города)

Авторы согласны с тем, что редакция имеет право на литературное редактирование и доведение статьи до редакторских стандартов, принятых в рамках журнала.

Авторы разрешают публикацию статьи в открытом доступе на электронных ресурсах в PDF-формате и прилагают лицензионный договор от каждого автора(соавтора) статьи.

Подпись

<Дата>

## Шаблон рецензии

В редакцию журнала  
" МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ "  
190008 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д. 3

### РЕЦЕНЗИЯ

Статья: <Заголовок статьи>.

Статья:<Фамилии И.О. авторов>

#### I. Информация для редакции

1. Соответствие статьи тематике журнала:
  - статья соответствует тематике журнала (да/нет)
  - если нет, то какие альтернативные журналы могут быть предложены авторам для рассмотрения?
2. Оригинальность и значимость результатов статьи (да/нет/другие оценки):
  - результаты оригинальны
  - результаты имеют научную значимость
  - результаты имеют практическую значимость
3. Качество изложения материала статьи (да/нет/другие оценки):
  - является ли аннотация достаточно информативной
  - понятность изложения статьи
  - следует ли сократить размер статьи
  - ясно ли указана цель статьи
  - адекватно ли определено место статьи в круге других работ
  - можно ли понизить степень подробности математических выкладок
  - адекватен ли список цитированной литературы
  - все ли рисунки и таблицы уместны
  - имеются ли ошибки и технические погрешности
  - строгость изложения математических и экспериментальных результатов
  - достаточно ли обоснованы результаты и выводы статьи
4. Заключение (да/нет)
  - статья может быть принята для публикации без доработки
  - статья требует доработки и повторного рецензирования
  - статья не может быть принята для публикации
  - статью следует передать другому специалисту на рецензирование
5. Замечания и рекомендации по статье для членов редколлегии

Должность, ученое звание и научная степень

<Дата>

<Подпись рецензента>

#### II. Замечания и рекомендации по статье для авторов

Лицензионный договор № \_\_\_\_\_

г. Санкт-Петербург

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ года

Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»), именуемое в дальнейшем "Лицензиат", в лице заместителя генерального директора-главного редактора научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» Никитин Николая Васильевича, действующего на основании Доверенности № 1-59, удостоверенной нотариусом Санкт-Петербурга Володиным А.В. 21.01.2014г, с одной стороны, и Гражданин РФ \_\_\_\_\_, именуемый в дальнейшем "Лицензиар", с другой стороны, именуемые в дальнейшем "Сторона/Стороны", заключили настоящий договор (далее - "Договор") о нижеследующем.

#### 1. Предмет Договора

1.1. По настоящему Договору Лицензиар на безвозмездной основе предоставляет Лицензиату право использования \_\_\_\_\_,

(наименование, характеристика передаваемых материалов)

именуемого в дальнейшем "Произведение", на основе неисключительной лицензии в обусловленных Договором пределах и на определенный Договором срок.

1.2. Лицензиар гарантирует, что он обладает исключительными авторскими правами на передаваемое Лицензиату Произведение.

#### 2. Права и обязанности Сторон

2.1. Лицензиар предоставляет Лицензиату на весь срок действия исключительных прав на Произведение следующие права:

2.1.1. право на воспроизведение Произведения (опубликование, обнародование, дублирование, тиражирование или иное размножение Произведения) без ограничения тиража экземпляров. При этом каждый экземпляр Произведения должен содержать имя автора Произведения;

2.1.2. право на распространение Произведения любым способом;

2.1.3. право на включение в составное произведение;

2.1.4. право на доведение до всеобщего сведения;

2.1.5. на использование метаданных (название, имя автора (правообладателя), аннотации, библиографические материалы и пр.) Произведений путем распространения и доведения до всеобщего сведения, обработки и систематизации, а также включения в различные базы данных и информационные системы.

2.1.6. право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему договору права третьим лицам без выплаты Лицензиару вознаграждения.

2.2. Лицензиар передает права Лицензиату по настоящему Договору на основе неисключительной лицензии.

2.3. Лицензиар, в течение трех рабочих дней обязан предоставить Лицензиату Произведение в электронной версии в формате инструкции по подготовке статей для научного журнала «Морские интеллектуальные технологии» для ознакомления. В течение 30 (тридцать) рабочих дней, если Лицензиатом не предъявлены к Лицензиару требования или претензии, связанные с качеством (содержанием) или объемом предоставленному для ознакомления Произведению, Стороны подписывают Акт приема-передачи Произведения.

2.4. Дата подписания Акта приема-передачи Произведения является моментом передачи Лицензиату прав, указанных в настоящем Договоре.

2.5. Лицензиат обязуется соблюдать предусмотренные действующим законодательством авторские права, права Лицензиара, а также осуществлять их защиту и принимать все возможные меры для предупреждения нарушения авторских прав третьими лицами.

2.6. Территория, на которой допускается использование прав на Произведения, не ограничена.

2.7. Лицензиар также предоставляет Лицензиату право хранения и обработки следующих своих персональных данных без ограничения по сроку:

- фамилия, имя, отчество;
- дата рождения;
- сведения об образовании;

- сведения о месте работы и занимаемой должности;
- сведения о наличии опубликованных произведений литературы, науки и искусства.

Персональные данные предоставляются для их хранения и обработки в различных базах данных и информационных системах, включения их в аналитические и статистические отчетности, создания обоснованных взаимосвязей объектов произведений науки, литературы и искусства с персональными данными и т.п.

Лицензиат имеет право передать указанные данные для обработки и хранения третьим лицам при условии уведомления о таком факте с предоставлением сведений о третьем лице (наименование и адрес) Лицензиару.

Отзыв согласия на хранение и обработку персональных данных производится Лицензиаром путем направления соответствующего письменного уведомления Лицензиату.

### 3. Ответственность Сторон

3.1. Лицензиар и Лицензиат несут в соответствии с действующим законодательством РФ имущественную и иную юридическую ответственность за неисполнение или ненадлежащее исполнение своих обязательств по настоящему Договору.

3.2. Сторона, ненадлежащим образом исполнившая или не исполнившая свои обязанности по настоящему Договору, обязана возместить убытки, причиненные другой Стороне, включая упущенную выгоду.

### 4. Конфиденциальность

4.1. Условия настоящего Договора и дополнительных соглашений к нему - конфиденциальны и не подлежат разглашению.

### 5. Заключительные положения

5.1. Все споры и разногласия Сторон, вытекающие из условий настоящего Договора, подлежат урегулированию путем переговоров, а в случае их безрезультатности, указанные споры подлежат разрешению в суде в соответствии с действующим законодательством РФ.

5.2. Настоящий Договор вступает в силу с момента подписания обеими Сторонами настоящего Договора и Акта приема-передачи Произведения.

5.3. Настоящий Договор действует до полного выполнения Сторонами своих обязательств по нему.

5.4. Расторжение настоящего Договора возможно в любое время по обоюдному согласию Сторон, с обязательным подписанием Сторонами соответствующего соглашения об этом.

5.5. Расторжение настоящего Договора в одностороннем порядке возможно в случаях, предусмотренных действующим законодательством, либо по решению суда.

5.6. Любые изменения и дополнения к настоящему Договору вступают в силу только в том случае, если они составлены в письменной форме и подписаны обеими Сторонами настоящего Договора.

5.7. Во всем, что не предусмотрено настоящим Договором, Стороны руководствуются нормами действующего законодательства РФ.

5.8. Настоящий Договор составлен в двух экземплярах, имеющих одинаковое содержание и равную юридическую силу, по одному для каждой из Сторон.

### 6. Реквизиты Сторон.

Лицензиар:

ФИО, дата рождения, паспорт, адрес  
регистрации

Лицензиат:

ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»  
Адрес: 190121, г. Санкт-Петербург,  
ул. Лоцманская д. 3  
ИНН 7813074883, КПП 783901001  
Расч.счет: 40702810700000000032  
БАНК «Таврический» (ОАО),  
г. Санкт-Петербург,  
БИК – 044030877  
корр. счет 30101810700000000877.

Лицензиар:

Лицензиат

Заместитель Генерального директора  
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»

\_\_\_\_\_/Никитин Н.В./

АКТ  
к лицензионному договору № \_\_\_\_\_

г. Санкт-Петербург

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года

Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» (ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»), именуемое в дальнейшем "Лицензиат", в лице заместителя генерального директора-главного редактора научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» Никитин Николая Васильевича, действующего на основании Доверенности № 1-59, удостоверенной нотариусом Санкт-Петербурга Володиным А.В. 21.01.2014г, с одной стороны, и Гражданин РФ \_\_\_\_\_, именуемый в дальнейшем "Лицензиар", с другой стороны, именуемые в дальнейшем "Сторона/Стороны", составили настоящий акт (далее – «Акт») к лицензионному договору № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ года (далее - "Договор") о нижеследующем.

1. Лицензиар передал, а Лицензиат принял в соответствии с условиями Договора 1 (один) экземпляр Произведения - \_\_\_\_\_ (наименование и характеристика) - и право его использования.
2. Стороны взаимных претензий по порядку и объему исполнения обязательств по Договору не имеют.
3. Настоящий Акт составлен в двух экземплярах, имеющих равную юридическую силу, по одному для каждой из Сторон.

## Реквизиты Сторон.

Лицензиар:  
ФИО, дата рождения, паспорт, адрес  
регистрации

Лицензиат:  
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»  
Адрес: 190121, г. Санкт-Петербург,  
ул. Лоцманская д. 3  
ИНН 7813074883, КПП 783901001  
Расч.счет: 40702810700000000032  
БАНК «Таврический» (ОАО),  
г. Санкт-Петербург,  
БИК – 044030877  
корр. счет 30101810700000000877.

Лицензиар:

Лицензиат  
Заместитель Генерального директора  
ООО «НИЦ «МОРИНТЕХ»

\_\_\_\_\_/Никитин Н.В./

**Есть на складе издательства****Гайкович А. И.****Основы теории проектирования сложных технических систем****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2001, 432 стр.**

Монография посвящена проблеме проектирования больших разнокомпонентных технических систем. Изложение ведется с позиций системного анализа и достижений прикладной математики и информатики.

Есть в продаже: **цена 420 руб. + пересылка**

**Коршунов Ю. Л.****Люди, корабли, оружие (К 70-летию 1-го ЦНИИ МО РФ)****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2002, 176 стр.**

Книга содержит историю научно-исследовательских институтов кораблестроения и морского оружия. Автор приводит большое количество фактов, характеризующих деятельность институтов на различных этапах развития флота.

Есть в продаже: **цена 280 руб. + пересылка**

**Архипов А. В., Рыбников Н. И.****Десантные корабли, катера и другие высадочные средства морских десантов****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2002, 280 стр.**

Изложен опыт проведения морских десантных операций, их особенности, характерные черты и тенденции развития этого вида боевых действий. Рассмотрены наиболее существенные аспекты развития десантных кораблей, катеров и других высадочных средств морских десантов. Затронуты некоторые особенности проектирования десантных кораблей и возможные пути совершенствования расчетных методов.

Есть в продаже: **цена 320 руб. + пересылка**

**Караев Р. Н., Разуваев В. Н., Фрумен А. И.****Техника и технология подводного обслуживания морских нефтегазовых сооружений.****Учебник для вузов****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2012, 352 стр.**

В книге исследуется роль подводно-технического обслуживания в освоении морских нефтегазовых месторождений. Приводится классификация подводного инженерно-технического обслуживания морских нефтепромыслов по видам работ.

Изложены основные принципы формирования комплексной системы подводно-технического обслуживания морских нефтепромыслов, включающей использование водолазной техники, глубоководных водолазных комплексов и подводных аппаратов.

Есть в продаже: **цена 1500 руб. + пересылка**

**Шауб П. А.****Качка поврежденного корабля в условиях морского волнения****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 144 стр.**

Монография посвящена исследованию параметров бортовой качки поврежденного корабля, судна с частично затопленными отсеками в условиях морского волнения. Выведена система дифференциальных уравнений качки поврежденного корабля с учетом нелинейности диаграммы статической остойчивости, начального угла крена, затопленных отсеков III категории.

Книга предназначена для специалистов в области теории корабля, а также может быть полезной для аспирантов, инженеров и проектировщиков, работающих в судостроительной области, занимающихся эксплуатацией корабля, судна.

Есть в продаже: **цена 350 руб. + пересылка**

**Гидродинамика малопогруженных движителей: Сборник статей****СПб, НИЦ МОРИНТЕХ, 2013, 224 стр.**

В сборнике излагаются результаты исследований гидродинамических характеристик частично погруженных гребных винтов и экспериментальные данные, полученные в кавитационном бассейне ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова в 1967–2004 гг. его эксплуатации при отработке методик проведения испытаний на штатных установках.

Есть в продаже: **цена 250 руб. + пересылка**



**Гайкович А. И.**

**Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов т. 1, 2**

**СПб., НИЦ МОРИНТЕХ, 2014**

Монография посвящена теории проектирования водоизмещающих кораблей и судов традиционной гидродинамической схемы. Методологической основой излагаемой теории являются системный анализ и математическое программирование (оптимизация).

Есть в продаже: **цена 2-х т. 2700 рублей + пересылка**