

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Волжский государственный университет водного транспорта

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Вестник ВГАВТ

Выпуск 65

Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Н. Новгород, 2020

УДК 33+55+62+65+72

В 38

В 38 Научные проблемы водного транспорта. Выпуск 65. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – 189 с.

Редакция: журнала:

Главный редактор	– Кузьмичев И.К. д.т.н., проф.
Первый заместитель главного редактора	– Минеев В.И. д.э.н., проф.
Заместитель главного редактора	– Корнев А.Б. к.т.н., доц.
Заместитель главного редактора	– Митрошин С.Г. к.т.н., доц.
Ответственный секретарь	– Раева О.А.

Редакционная коллегия:

Бажан П.И.	д.т.н., проф.	Безюков О.К.	д.т.н., проф.
Белых В.Н.	д.ф.-м.н., проф.	Бик Ю.И.	д.т.н., проф.
Ваганов А.Б.	д.т.н., доц.	Волков И.А.	д.ф.-м.н., проф.
Вычужанин В.В.	д.т.н., проф.	Гаврилов А.И.	д.э.н., проф.
Гирин С.Н.	к.т.н., проф.	Грамузов Е.М.	д.т.н., проф.
Ермаков С.А.	д.ф.-м.н., проф.	Зуев В.А.	д.т.н., проф.
Иванов В.М.	к.т.н., проф.	Казаков Н.Н.	к.т.н., доц.
Клементьев А.Н.	д.т.н., проф.	Корнилов Д.А.	д.э.н., проф.
Королев Ю.Ю.	к.э.н., доц.	Костров В.Н.	д.э.н., проф.
Лаврентьева Е.А.	д.э.н., проф.	Мареев Е.А.	д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН
Матвеев Ю.И.	д.т.н., проф.	Мордовченков Н.В.	д.э.н., проф.
Никущенко Д.В.	д.т.н., проф.	Озина А.М.	д.э.н., проф.
Отделкин С.Н.	д.т.н., проф.	Роннов Е.П.	д.т.н., проф.
Ситнов А.Н.	д.т.н., проф.	Соловьев А.В.	д.т.н.
Удалов О.Ф.	д.э.н., проф.	Уметалиев А.С.	д.э.н., проф.
Уртминцев Ю.Н.	д.т.н., проф.	Франк Венде	к.т.н., проф.
Цветков Ю.Н.	д.т.н., проф.		

Редакционный совет журнала:

Алексеев В.Я. – Генеральный директор ОАО «Порт Коломна»
Бессмертный Д.Э. – Руководитель ФБУ «Администрация волжского бассейна», к.т.н.
Ежов П.В. – Генеральный директор ООО «Си Тех»
Ефремов Н.А. – Первый заместитель генерального директора ФАУ PPP, д.э.н.
Мареев Е.А. – Заместитель директора ИПФ РАН по научной работе, д.ф.-м.н., профессор, член-корр. РАН
Мочалина Н.Н. – Первый заместитель министра – начальник Управления природопользования Министерства экологии и природных ресурсов Нижегородской области
Столповицкий К.С. – сотрудник проектного офиса по реализации реформы контрольной и надзорной деятельности Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации
Теодор де Йонге – Генеральный директор «Numeriek Centrum Groningen B.V.», Нидерланды
Франк Венде – Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg, ФРГ, PhD
Шаталов В.В. – Генеральный директор ОАО КБ «Вымпел», профессор

«Научные проблемы водного транспорта» (старое название «Вестник ВГАВТ») – журнал широкой научной тематики, посвященный вопросам водного транспорта. Материалы выпуска рекомендуются научным сотрудникам, преподавателям высших учебных заведений, инженерам, аспирантам и студентам соответствующих специальностей

© ВГУВТ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел I

Судостроение, судоремонт и экологическая безопасность судна

Березин Е.К., Родюшкин В.М.

Оценка качества восстановления наплавкой порошковой проволокой быстро- изнашивающихся деталей черпаковой цепи с помощью ультразвука..... 11

Галочкин Д.А., Колодяжный В.С.

Сравнительный анализ требований Правил Российского морского регистра судоходства и Правил Российского Речного Регистра в отношении горючих материалов 18

Дыда А.А., Чумакова К.Н., Пушкарев И.И.

Подход к управлению судном по траектории на основе градиента вспомогательной функции..... 27

Иванова О.А., Благовидова И.Л., Родькина А.В.

Система критериев для сопоставления и оценки применимости различных типов буровых установок в суровых климатических условиях 37

Кочнев Ю.А., Кочнева И.Б.

Обоснование целесообразности утилизации судна 54

Хлыбов А.А., Кабалдин Ю.Г., Рябов Д.А., Матвеев Ю.И.

Исследование связи скорости ультразвука в металлах с их ударной вязкостью и твердостью в условиях пониженных температур 60

Раздел II

Эксплуатация судового энергетического оборудования

Кочергин В.И., Глушков С.П., Курмыгин А.В.

Исследование неравномерности вращения привода элементов судовых энергетических установок..... 71

Покусаев М.Н., Хмельницкая А.А., Хмельницкий К.Е., Кадин А.А.

Снижение локальной вибрации на румпеле подвесного лодочного мотора при помощи транцевой многослойной вибронакладки 80

Раздел III

Экономика, логистика и менеджмент на транспорте

Артамонова М.Ю., Землянкин Д.А.

Цифровизация контейнерных перевозок на железнодорожном транспорте как новый этап развития логистики в России 89

Крайнова В.В. Объекты внутреннего контроля в судоходных компаниях	100
Леонов В.Е., Сердюк А.Д. Исследования параметрической связи ЕЕОІ судна в условиях реального морского рейса	105
Троилин В.В., Арустамов И.А. Эффективное взаимодействие сухих и морских портов как фактор конкурентных преимуществ на транспортном рынке.....	117

Раздел IV

Эксплуатация водного транспорта, судовождение и безопасность судоходства

Веселов В.А., Проботюк В.В., Китаев М.В., Суров О.Э. Метод выявления дефектов морских трубопроводов посредством вейвлет-анализа сигнала дистанционной магнитометрии.....	133
Лобанов В.А. Ледовая ходкость судов с нетрадиционным формообразованием	143
Телегин А.И., Ничипорук А.О., Малышкин А.Г. Методика определения эффективности при внедрении приборов для точного измерения осадки судов	157
Чурин М.Ю., Бажанкин Ю.В. Современные подходы к натурным методам определения динамической про- садки судна.....	165

Раздел IV

Водные пути, порты и гидротехнические сооружения

Ситнов А.Н., Шестова М.В., Воронина Ю.Е. Прогноз русловых деформаций и особенности разработки пойменных карьеров нерудных строительных материалов в меандрирующих руслах рек с учетом безопасных условий судоходства (на примере р. Белая)	179
--	-----

Federal Agency of Sea and River Transport
Volga State University of Water Transport

**RUSSIAN JOURNAL
OF WATER TRANSPORT**

Issue 65

VSUWT publishing house
N. Novgorod, 2020

Editor-in-chief	– D.Sc.(Tech.) Professor Kuzmichev I.K.
First Deputy Editor	– D.Sc.(Econ.), Professor Mineev V.I.
Deputy Editor-in-chief	– Ph.D. Associate Professor Kornev A.B
Deputy Editor-in-chief	– Ph.D. Associate Professor Mitroshin S.G.
Executive secretary	– Raeva O.A.

The Editorial Board: of the journal

Bazhan P.I.	D.Sc.(Tech.), Professor	Bezyukov O.K.	D.Sc.(Tech.), Professor
Belykh V.N.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof.	Bik Y.I.	D.Sc.(Tech.), Professor
Vaganov A.B.	Ph.D. Associate Professor	Volkov I.A.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof.
Vychuzhanin V.V.	D.Sc.(Tech.), Professor	Gavrilov A.I.	Ph.D.(Econ.), Professor
Girin S.N.	Ph.D. Associate Professor	Gramuzov E.M.	D.Sc.(Tech.), Professor
Ermakov S.A.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof.	Zuev V.A.	D.Sc.(Tech.), Professor
Ivanov V.M.	Ph.D. Associate Professor	Kazakov N.N.	Ph.D. Associate Professor
Klement'ev A.N.	D.Sc.(Tech.), Professor	Kornilov D.A.	Ph.D.(Econ.), Professor
Korolev Y.Y.	Ph.D. Associate Professor	Kostrov V.N.	D.Sc.(Econ.), Professor
Lavrentieva E.A.	Ph.D.(Econ.), Professor	Mareev E.A.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof.
Matveev Y.I.	D.Sc.(Tech.), Professor	Mordovchenkov N.V.	D.Sc.(Econ.), Professor
Nikushenko D.V.	D.Sc.(Tech.), Professor	Ozina A.M.	Ph.D.(Econ.), Professor
Otdelkin N.S.	D.Sc.(Tech.), Professor	Ronnov E.P.	D.Sc.(Tech.), Professor
Sitnov A.N.	D.Sc.(Tech.), Professor	Soloviev A.V.	D.Sc.(Tech.),
Udalov O.F.	Ph.D.(Econ.), Professor	Umetaliev A.S.	Ph.D.(Econ.), Professor
Urtmintsev Y.N.	D.Sc.(Tech.), Professor	Frank Vende	Ph.D. Associate Professor
Tsvetkov Yu.N.	D.Sc.(Tech.), Professor		

The Editorial Council of the journal

Alekseev V.J. – General Director of JSC «Port Kolomna»
 Bessmertnui D.E. – The head of the FBI «The administration of the Volga basin», Ph.D.
 Ezov P.V. – General Director of «Sea Tech»
 Efremov, NA – First Deputy General Director of the State PPP, Ph.D.
 Mareev EA – Deputy Director of the IAP RAS on scientific work, Dr., Professor, Corresponding Member. RAS
 Mochalina N. N. – First Deputy Minister – the head of the Natural Resources Department of the Nizhny Novgorod region Ecology and Natural Resources Ministry
 Sazonov I.G. – Deputy Minister of Industry of Nizhny Novgorod Region
 Stolovitsky K. S. - manager of the project office for the implementation of the reform of the control and supervisory activities of the Analytical Center under the Government of the Russian Federation
 Theodore de Jonge – General Director of «Numeriek Centrum Groningen BV», The Netherlands
 Frank Wende – Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg, Germany, PhD.
 Shatalov V.V. – General Director of CB «Vympel», Professor

CONTENTS

Section I

Shipbuilding, ship repair, and ecological safety of the ship

Berezin E.K., Rodyushkin V.M.

Estimating the quality of powder wire surfacing restoration of scoop chain fast-wearing parts with the use of ultrasonic 11

Galochkin D.A., Kolodyazhnyi V.S.

Comparative analysis of the russian maritime shipping register requirements and the russian river register requirements for combustible materials 18

Dyda A.A., Chumakova K.N., Pushkarev I.I.

Auxiliary function gradient approach to marine vehicle path-following control 27

Ivanova O.A., Blagovidova I.L., Rodkina A.V.

Criteria system for comparison and evaluation of various drilling rigs types applicability under severe climatic conditions 37

Kochnev Y.A., Kochneva I.B.

Justification for the expediency of ship recycling 54

Khlybov A.A., Kabaldin Y.G., Anosov M.S., Ryabov D.A., Matveev Y.I.

Research of the relationship of the rate of ultrasound in metals with their impact viscosity and hardness under the conditions of reduced temperatures 60

Section II

Operation of ship power equipment

Kochergin V.I., Glushkov S.P., Kurmygin A.V.

Research of non-uniform rotation of ship power plant elements drive 71

Pokusaev M.N., Khmel'nitskaya A.A., Khmel'nitsky K.E., Kadin A.A.

Reduction of local vibration on the tiller of an outboard motor using a transom multi-layer vibration pad 80

Section II

Economics, logistics and transport management

Artamonova M.Y., Zemlyankin D.A.

Digitalization of container transport by rail as a new stage of logistics development in Russia 89

Krainova V.V. Objects of internal control in shipping companies.....	100
Leonov V.Ye., Serdyuk O.D. Research on EEOI parametric connection of a ship during the real voyage conduction	105
Troilin V.V., Arustamov I.A. The effective cooperation between dries and marine ports as the factor of transport market competitive advantages	117

Section IV

Operation of water transport, navigation and safety of navigation

Veselov V.A., Probotyuk V.V., Maksim V. Kitaev M.V., Surov O.E. Method for detecting defects in marine pipelines by wavelet analysis of remote magnetometry signal.....	133
Lobanov V.A. Ice propulsion ability of vessels with nontraditional form.....	143
Telegin A.I., Nichiporuk A.O., Malyshkin A.G. Method of determining efficiency during implementation of instruments for accurate measurement of ship draught	157
Churin M.Y., Bazhankin Y.V. Present-day approaches to full-scale trial methods for dynamic ship squat determination	165

Section IV

Waterways, ports and hydraulic engineering constructions

Sitnov A.N., Voronina Y.E., Shestova M.V. Channel deformations forecast and features of floodplain quarries of non-metallic construction materials development in meandering riverbeds based on safe navigation conditions (on the example of the Belaya river).....	179
--	-----

Раздел I

**Судостроение, судоремонт
и экологическая безопасность судна**



Section I

***Shipbuilding, ship repair,
and ecological safety of the ship***



УДК 620.179.16

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.123>

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАПЛАВКОЙ Порошковой проволокой Быстроизнашивающихся деталей черпаковой цепи с помощью ультразвука

Е.К. Березин

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

В.М. Родюшкин

*Институт проблем машиностроения РАН - филиал Федерального исследовательско-
го центра Институт прикладной физики Российской академии наук",
г. Нижний Новгород, Россия*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3081-0288>

Аннотация. На примере пальцев черпаковой цепи предложена методика интегральной оценки качества восстановления деталей с помощью упругих волн - ультразвука. Целью работы является обеспечение оперативности измерений при оценке качества восстановленных деталей в условиях ремонтной базы. Для этого использованы данные об ослаблении упругих волн при прохождении их через восстановленную деталь. В отличие от прецизионных измерений скорости упругих волн, измерение ослабления ультразвука не требует лабораторного оборудования, достаточно обычного промышленного дефектоскопа. Для оценки качества изделия преобразователь поочередно устанавливался в определенных по длине пальца точках, зондирующий луч направлялся по диаметру и фиксировался первый отраженный от противоположной стороны пальца импульс упругих колебания и второй, прошедший дополнительно два диаметра пальца. Найден количественный показатель, позволяющий оценить качество восстановления детали. Предлагаемая методика в определенной мере решает проблему интегральной оценки состояния восстановленного пальца черпаковой цепи. Для предотвращения преждевременного выхода из строя восстановленных наплавкой порошковой проволокой деталей, достаточно внедрить в практику необременительную процедуру контроля ослабления звука.

Ключевые слова: палец черпаковой цепи, наплавка порошковой проволокой, ослабление ультразвука, дефектоскоп

Введение

Основной причиной выхода из строя восстановленных наплавкой порошковой проволокой деталей является недостаточное качество сцепления между поверхностью основного металла с наносимым покрытием. Однако на качество восстановления детали влияет не только прочность сцепления, но и качество материала покрытия, состояние основного металла. Прочность сцепления покрытий и основного металла оценивается во многих работах [1,2]. На практике не менее важно оценить интегральное состояние восстановленного пальца черпаковой цепи, то есть наряду с качеством сцепления, следует оценивать качество самого металла [3-5] и наплавки. Исследования прочности сцепления покрытия с основным металлом носят академический интерес, ограничиваясь лабораторными образцами. В то же время на практике при ремонте деталей существует реальная потребность оперативного контроля качества восстановленных деталей.

Материалы и методы

Для решения поставленной задачи безусловный приоритет принадлежит методам контроля с помощью ультразвука [6-9]. В работе на примере пальцев черпаковой цепи предлагается методика интегральной оценки качества восстановления деталей с помощью упругих волн - ультразвука. Методика апробирована в условиях Учебно-научно-производственного центра «Судоремонт».

Для обеспечения оперативности измерений при оценке качества восстановленных деталей в условиях ремонтной базы логично воспользоваться измерением ослабления упругих волн при прохождении их через восстановленную деталь, так как состояние металла влияет на ослабление ультразвука [10-13]. В отличие от прецизионных измерений [14,15], измерение ослабления ультразвука не требует лабораторного оборудования и производится стандартным промышленным дефектоскопом. Погрешность при измерениях ослабления составляет величину порядка 10%. Обусловлено это тем, что оперативному ультразвуковому контролю в условиях производства сопутствуют различия в установке датчиков и условий контакта датчика с поверхностью детали (контактная жидкость, шероховатость поверхности и т.д.).

Идея оценки качества восстановления наплавкой порошковой проволокой быстрознашивающихся деталей черпаковой цепи с помощью ультразвука была апробирована на тестовом примере из десяти восстановленных пальцев (рис.1) черпаковой цепи.



Рис. 1. Восстановленные пальцы черпаковой цепи.

Ослабление упругих волн с расстоянием оценивается формулой:

$$A_1 = A_0 \exp(-\delta x) \sin(2\pi ft - kx)$$

где A_0 - амплитуда колебаний частиц у источника; δ - пространственный амплитудный коэффициент затухания, f - частота упругой волны, t - время, k - волновое число, равное $2\pi f / c$, (здесь c - скорость волны, x - координата распространения волны).

По измерению амплитуды колебаний (A_1 и A_2) при двух положениях приемника (x_1 и x_2) можно определить затухание, используя логарифмическую единицу - децибел (дБ): Δ (дБ) = $20 \lg(A_2 / A_1) = -8,68 * \delta * (x_2 - x_1)$. Вычислив $(x_2 - x_1)$, и измерив Δ (дБ) получим затухание в [дБ/м].

В работе использован промышленный дефектоскоп УД2-70 и пьезоэлектрический преобразователь на частоту 1,25 МГц (ПЭП), что позволяло в технологическом плане проводить измерения в условиях ремонтной базы. Технология оценки качества изде-

лия заключается в следующем: ПЭП поочередно устанавливается в определенных по длине пальца точках. Измеряются первый и второй отраженные от противоположной стороны пальца импульсы упругих колебаний. Результат: среднее значение Δ (дБ) оценивался по 6 наблюдениям соотношений импульсов. В отсутствие наплавки затухание определяется как: Δ (дБ) = $-8,68 (-\delta \Delta x_2 - \delta \Delta x_2)$. Это количественный показатель ослабления, вызванной процессом распространения упругой волны в материале.

Результаты

Данные, в относительных единицах $\frac{\Delta - \Delta_{\text{сред}}}{\Delta_{\text{сред}}}$, полученные на изношенных пальцах на первом этапе измерений приведены на рис.2. Здесь $\Delta_{\text{сред}}$ – среднее значение для всего тестового набора изделия. Считая погрешность измерения порядка 10 %, из рис.2 следует, что основной металл пальцев №№1,4,7,8 поврежден более остальных, но в процентном отношении отклонения составили менее 25%, что соответствует режиму надежной эксплуатации и данный экземпляр изделия подлежит восстановлению [4].

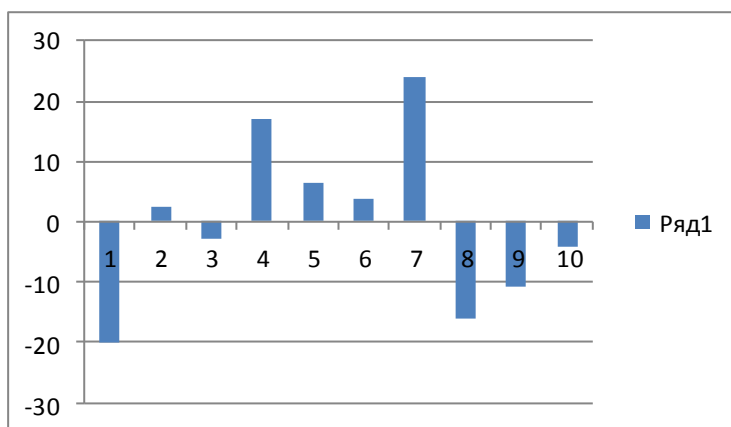


Рис.2. Данные, полученные на первом этапе контроля в дБ (вертикальная ось)
 Горизонтальная ось –порядковый номер пальца.

На втором этапе измерений оценивается качество наплавки и адгезии её к основному металлу по разнице ослабления ультразвука, измеренного на первом (не восстановленный палец) и втором (восстановленный палец).

Рассмотрим ход зондирующего луча, схематично представленный на рис. 3.

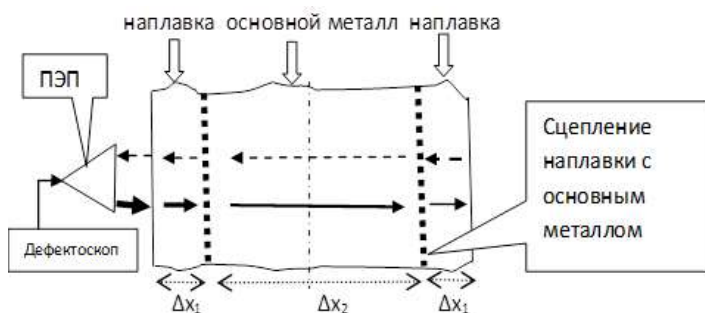


Рис.3. Условный ход ультразвукового луча в восстановленном пальце.

При прохождении упругой волной многослойной среды, какой является восстановленный палец, ослабление интенсивности колебаний будет обусловлено состоянием основного металла, ослаблением в наплавке, потерями в переходном слое. В слое эффект обусловлен как прочностью сцепления наплавки с основой, так и разностью акустических сопротивлений наплавляемого металла и металла основы. Уровень второго отраженного импульса относительно первого будет определяться сомножителями: $\exp(-\delta \Delta x_1) * \{1 - R\}^2 * \exp(-\delta \Delta x_2) * \{1 - R\}^2 * \exp(-\delta \Delta x_1) * \exp(-\delta \Delta x_1) * \{1 - R\}^2 * \exp(-\delta \Delta x_2) * \{1 - R\}^2 * \exp(-\delta \Delta x_1)$, что отражается на показаниях дефектоскопа как сумма слагаемых: $\Delta_{\text{восстановленные}}(\text{дБ}) = -8,68 (-\delta \Delta x_1 - \delta \Delta x_2 - \delta \Delta x_1 - \delta \Delta x_1 - \delta \Delta x_2 - \delta \Delta x_1) + 4 * \log\{1 - R\}^2$.

Выделенные сомножители относятся к ослаблению ультразвука в основном металле, которое на первом этапе уже определено. При некачественном сцеплении на ослабление существенное влияние оказывает площадь расслоения - S , то есть площадь, где между слоями нет механической связи. Тогда коэффициент отражения от слоя сцепления будет равен [2]: $R = r * (1 - S_1) + S_1$; здесь коэффициент прохождения

$$r = |z_2 - z_1 / z_2 + z_1|^2, \quad z_2, z_1 \text{ - импеданс материала металла и наплавки.}$$

Разность между результатами измерений на втором и первом этапах $\Delta_{\text{восстановленные}}(\text{дБ}) - \Delta(\text{дБ})$ отражает влияние на ослабление амплитуды волны, произошедшее только в наплавке и за счет качества сцепления. На рис.4 приведены полученные результаты.

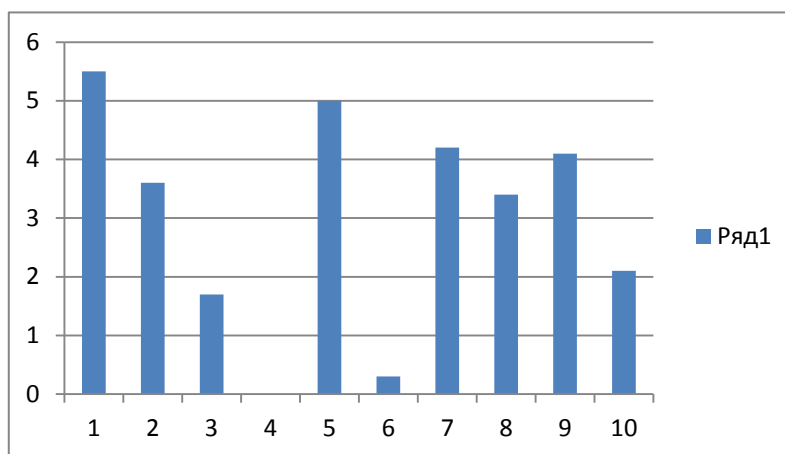


Рис.4. Результаты в дБ (вертикальная ось), обусловленные качеством наплавки и адгезии её к основному металлу. Горизонтальная ось – порядковый номер пальца.

Очевидно, что качество восстановления детали неодинаково. Максимальный вклад в ослабление звука структуры наплавки и адгезии её к основному металлу наблюдаются у №№1,5,7,9. Таким образом, вычленив из результата измерений второго этапа результаты измерения до восстановления пальца, можно оценить качество восстановления детали без учета степени деградации основного металла.

Заключение

Предложенный показатель количественно позволяет оценить качество восстановления детали, что решает в определенной мере проблему интегральной оценки состояния восстановленного пальца черпаковой цепи.

Работа поддержана РФФИ: грант № 19-08-00965-а.

Список литературы:

1. Левин Э.Л., Сайфуллин Р.Н. Оценка прочности сцепления ленты с основным металлом при восстановлении деталей электроконтактной приваркой // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 10 (46). С. 48-49.
2. Родюшкин В. М., Березин Е.К. Ультразвуковой контроль расслоений шатунного вкладыша дизельных агрегатов Г60//Контроль.Диагностика.2018.№8. с.60-64
DOI: 10.14489/td.2018.08.pp.060-064
- Иляхинский А.В., Родюшкин В.М. О некоторых технологиях ультразвукового контроля технического состояния оборудования//Актуальные проблемы в машиностроении. 2019.Т.6.№1-4.с.60-65
3. Дубровский В.А., Амеличева А.Ю., Потапов А.В., Зезюля В.В., Головачева Ю.Г., Меньшиков В.С. Экспериментальные исследования технологических свойств металлических покрытий цилиндрических образцов после электроконтактной наварки различными проволоками// Сварка и диагностика. 2018. № 1. С. 27-31.
4. Березин Е.К., Родюшкин В.М. Предремонтная диагностика металла пальцев черпаковой цепи с помощью ультразвука // Контроль.Диагностика.2019.№12.с.48-52
DOI: 10.14489/td.2019.12.pp.048-052
5. Яцьшен В.В., Слюсарев М.В. Ультразвуковая диагностика дефектов зоны сплавления в слоистых композиционных материалах// Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2011. Т. 14. № 4. С. 103-105.
6. A. Ilyakhinskiy, V. Rodyushkin, E. Berezin Ultrasonic flaw detection capabilities at first stage of technological process of ship engine overhaul // MATEC Web of Conferences 224, 02012 (2018) DOI: 10.1051/mateconf/201822402012
7. Seldis T. Ultrasonic properties of reactor pressure vessel strip cladding // Insight. 2009. V. 51. N 11. P. 601 - 605. DOI: 10.1784/insi.2009.51.11.601
8. Vanyagin A.V., Rodyushkin V.M. Measurement of acoustic nonlinearity of damaged metal // Measurement Techniques. 2018. Т. 60. № 10. С. 1028-1031. DOI: 10.1007/s11018-018-1312-x
9. Yeh C.N., Wu T.C., Yang C.H. Nondestructive measurement material characterization of thermal sprayed aluminum coatings by using laser ultrasound technique.// Physics Procedia, 2015, vol. 70, pp. 492-495. □ DOI:10.1016/j.phpro.2015.08.293
10. Ботвина Л.Р. Разрушение: Кинетика, механизмы, общие закономерности. - М.: Наука, 2008. - 334 с.
11. Gobran N.K., Youssef H. New method for the measurement of ultrasonic attenuation in solids at high temperatures. J.Acoust.Soc.Amer., 1966, v.39, No.6, paper ID 11201124. □ DOI:10.1121/1.1909999
12. Карташев В. Г., Фадин А. С., Трунов Э. И., Али Зайд Салех Салем. Определение коэффициента погонного затухания ультразвуковой волны в неоднородном материале посредством обработки реализаций структурного шума // Вестник МЭИ. - 2017. - № 4. - С. 146-155. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-146-155
13. P. Bayer, L. Singher and A. Notea. Early detection of fatigue damage through ultrasonic non-destructive evaluation / part II: Experimental, Journal of Testing and Evaluation.vol.27. iss.6 (1999) p.432 - 439. DOI: 10.1520/JTE12172J
14. Erofeev V.I., Ilyahinsky A.V., Nikitina E.A., Rodyushkin V.M. Study of the defective structure of metal by the method of ultrasonic sounding // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2019. Т. 48. № 1. С. 93-97. DOI: 10.3103/S1052618819010060
15. Мотова Е.А., Никитина Н.Е. Ультразвуковое исследование поведения конструкционных материалов при циклическом нагружении // Проблемы прочности и пластичности, 2015, Т.77, №3, С. 227-235.

ESTIMATING THE QUALITY OF POWDER WIRE SURFACING RESTORATION OF SCOOP CHAIN FAST-WEARING PARTS WITH THE USE OF ULTRASONIC

Eugene K. Berezin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Vladimir M. Rodyushkin

Head of Laboratory on Experimental Mechanics, Institute of Machine Building Problems, Russian Science Academy, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. On the example of the fingers of the scoop chain, a technique is proposed for the integral assessment of the quality of restoration of parts using elastic waves - ultrasound. The purpose of the work is to ensure the efficiency of measurements when assessing the quality of remanufactured parts in the conditions of a repair base. For this, data on the attenuation of elastic waves when they pass through the restored part were used. Unlike precision measurements of the velocity of elastic waves, the measurement of ultrasound attenuation does not require laboratory equipment, a conventional industrial flaw detector is sufficient. To assess the quality of the product, the transducer was alternately installed at points determined along the length of the finger, the probe beam was directed along the diameter and the first pulse of elastic vibrations reflected from the opposite side of the finger was recorded and the second, which passed two additional diameters of the finger. Found a quantitative indicator that allows you to assess the quality of restoration of the part. The proposed method to a certain extent solves the problem of integral assessment of the state of the restored finger of the scoop chain. To prevent premature failure of parts restored by welding with flux-cored wire, it is enough to introduce into practice an easy procedure for controlling sound attenuation.

Keywords: technique, scoop chain finger, flux-cored wire surfacing, restoration, ultrasound attenuation, flaw detector

References:

1. Levin E.L., Sajfullin R.N. Ocenka prochnosti scepheniyaletny` s osnovny`m metallom pri vostanovlenii detalej e`lektrokontaktnoj privarkoj // Uprochnyayushhie tekhnologii i pokry`tiya. 2008. № 10 (46). S. 48-49.
2. Rodyushkin V. M., Berezin E.K. Ul`trazvukovoj kontrol` rassloenij shatunnogo vklady`sha dizel`ny`x agregatov G60//Kontrol`.Diagnostika.2018.№8. s.60-64 DOI: 10.14489/td.2018.08.pp.060-064
- Ilyaxinskij A.V., Rodyushkin V.M. O nekotory`x tekhnologiyax ul`trazvukovogo kontrolya texnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya//Aktual`ny`e problemy` v mashinostroenii. 2019.T.6.№1-4.s.60-65
3. Dubrovskij V.A., Amelicheva A.Yu., Potapov A.V., Zezyulya V.V., Golovacheva Yu.G., Men`shikov V.S. E`ksperimental`ny`e issledovaniya tekhnologicheskix svojstv metallicheskix pokry`tij cilindricheskix obrazcov posle e`lektrokontaktnoj navarki razlichny`mi provolokami// Svarka i diagnostika. 2018. № 1. S. 27-31.
4. Berezin E.K., Rodyushkin V.M. Predremontnaya diagnostika metalla pal`cev cherpakovoj cepi s pomoshh`yu ul`trazvuka // Kontrol`.Diagnostika.2019.№12.s.48-52 DOI: 10.14489/td.2019.12.pp.048-052
5. Yacyshen V.V., Slyusarev M.V. Ul`trazvukovaya diagnostika defektov zony` splavleniya v sloisty`x kompozicionny`x materialax// Fizika volnovy`x processov i radiotexnicheskie sistemy`. 2011. T. 14. № 4. S. 103-105.
6. A. Ilyakhinskiy, V. Rodyushkin, E. Berezin Ultrasonic flaw detection capabilities at first stage of technological process of ship engine overhaul // MATEC Web of Conferences 224, 02012 (2018) DOI: 10.1051/mateconf/201822402012
7. Seldis T. Ultrasonic properties of reactor pressure vessel strip cladding // Insight. 2009. V. 51. N 11. P. 601 - 605. DOI: 10.1784/insi.2009.51.11.601

8. Vanyagin A.V., Rodyushkin V.M. Measurement of acoustic nonlinearity of damaged metal // Measurement Techniques. 2018. Т. 60. № 10. S. 1028-1031. DOI: 10.1007/s11018-018-1312-x
9. Yeh C.N., Wu T.C., Yang C.H. Nondestructive measurement material characterization of thermal sprayed aluminum coatings by using laser ultrasound technique.// Physics Procedia, 2015, vol. 70, pp. 492-495. • DOI:10.1016/j.phpro.2015.08.293
10. Botvina L.R. Razrushenie: Kinetika, mexanizmy', obshhie zakonomernosti. - M.: Nauka, 2008. - 334 s.
11. Gobran N.K., Youssef H. New method for the measurement of ultrasonic attenuation in solids at high temperatures. J.Acoust.Soc.Amer., 1966, v.39, No.6, paper ID 11201124. • DOI:10.1121/1.1909999
12. Kartashev V. G., Fadin A. S., Trunov E. I., Ali Zajd Salex Salem. Opredelenie koefficienta pogonnogo zatuxaniya ul'trazvukovoj volny' v neodnorodnom materiale posredstvom obrabotki realizacij strukturnogo shuma // Vestnik MEI. - 2017. - № 4. - S. 146-155. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-146-155
13. P. Bayer, L. Singher and A. Notea. Early detection of fatigue damage through ultrasonic non-destructive evaluation / part II: Experimental, Journal of Testing and Evaluation.vol.27. iss.6 (1999) p.432 - 439. DOI: 10.1520/JTE12172J
14. Erofeev V.I., Ilyahinsky A.V., Nikitina E.A., Rodyushkin V.M. Study of the defective structure of metal by the method of ultrasonic sounding // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2019. Т. 48. № 1. S. 93-97. DOI: 10.3103/S1052618819010060
15. Motova E.A., Nikitina N.E. Ul'trazvukovoe issledovanie povedeniya konstrukcionny'x materialov pri ciklicheskom nagruzhении // Problemy' prochnosti i plastichnosti, 2015, Т.77, №3, S. 227-235.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ/INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Березин Евгений Кимович, к.т.н., начальник учебно-научного производственного центра «Судоремонт» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951 Нижний Новгород ул. Нестерова 5, e-mail: berezinec@mail.ru

Eugene K. Berezin, Candidate of Engineering Sciences, Head of Educational Scientific Center "Ship Repair", «Volga State University of Water Transport», 5, Nesterova str., Nizhny Novgorod, 602951.

Родюшкин Владимир Митрофанович, д.т.н., заведующий лабораторией Волновой динамики, экспериментальной механики и виброзащиты Института Проблем Машиностроения РАН (ИПМ РАН), 603024 Нижний Новгород, Белинского, 85, e-mail: vlkn2005@yandex.ru

Vladimir M. Rodyushkin Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory on Wave dynamics, experimental mechanics and vibration protection, Machine Building Problems Institute, Russian Academy of Science, 85, Belinskiy str., Nizhny Novgorod, 603024.

Статья поступила в редакцию 14.07.2020 г.

УДК 629.122

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.124>

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ПРАВИЛ РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА И ПРАВИЛ РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА В ОТНОШЕНИИ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Д.А. Галочкин

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

В.С. Колодяжный

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Представлены результаты сопоставительного анализа требований Правил Морского и Речного Регистров к конструктивной противопожарной защите (горючим материалам) судов смешанного плавания. Целью исследования является сопоставление уровня стандарта безопасности, заложенного в Правилах этих классификационных обществ для судов смешанного плавания, эксплуатирующихся в схожих районах и условиях плавания. В качестве метода исследования применялся попунктный анализ требований и подходов этих классификационных обществ, а также международных и национальных нормативных документов, на основе которых они разработаны. Показано, что подход по классификации материалов по результатам их испытаний, приведенный в Правилах Речного и Морского Регистров, в целом одинаков, но имеют место принципиальные отличия в части методик испытаний материалов и критериев оценки их результатов (испытания на горючесть, распространение пламени, воспламеняемость, токсичность продуктов горения, дымообразующую способность). Приведены результаты сопоставительного анализа и обозначены направления по совершенствованию и гармонизации нормативно-технической базы к судам смешанного плавания в отношении методик испытаний материалов и критериев оценки их результатов. Приведенные в статье материалы могут использоваться при подготовке требований Правил Российского Речного Регистра, а также применяться проектными организациями при разработке технической документации (анализе соответствия требованиям Правил), необходимой при переходе судна в класс Речного или Морского Регистров.

Ключевые слова: Российский Речной Регистр, Российский морской регистр судоходства, Кодекс ПИО, суда смешанного плавания, конструктивная противопожарная защита, горючие материалы, испытания на негорючесть, испытания на токсичность

Введение

Не секрет, что требования Правил любого Классификационного общества в максимальной степени учитывают условия эксплуатации. Однако полагается достаточно очевидным, что при схожих, порой одинаковых районах и условиях эксплуатации судов смешанного плавания с классом Российского Речного Регистра (далее — РРР) и Российского морского Регистра судоходства (далее — РМРС) уровень стандарта безопасности в части конструктивной противопожарной защиты, заложенный в Правилах этих Классификационных обществ, должен быть близок. Как представляется, последствия для экипажа, перевозимого груза и судна в целом от пожара в слабой степени зависят от класса судна и районов его эксплуатации [1, 2].

Под конструктивной противопожарной защитой согласно Правилам РРР (подпункт 7 пункта 1.2.1 части III Правил классификации и постройки судов (далее —

ПКПС)) и РМРС (пункт 1.2.1 части VI Правил классификации и постройки морских судов (далее — ПКПМС)) в общем случае понимается комплекс средств конструктивной защиты, ориентированных на:

- предотвращение опасности возникновения пожара (в частности, сведение к минимуму применения горючих материалов, регламентируется допускаемая масса горючих материалов на 1 м² площади палубы);

- ограничение распространения огня и дыма по судну (в случае возникновения пожара очаг возгорания должен быть локализован за счет применения противопожарных, огнезадерживающих конструкций типа А, В и т. п.);

- обеспечение условий для безопасной эвакуации людей из судовых помещений и с судна, а также для тушения пожара (если два предыдущих мероприятия в совокупности с активной противопожарной защитой не позволяют обеспечить уровень защиты для обеспечения живучести судна, то необходимо обеспечить безопасную эвакуацию людей и покидание судна) [3, 4].

В рамках настоящей статьи приведены результаты сопоставительного анализа в отношении требований к материалам, используемым для изготовления перегородок, обрешетников, изоляции, зашивки, декоративной отделки, мебели и т. п. (далее — материалы).

Классификация материалов по результатам их испытаний

Анализ требований Правил РРР и РМРС, проведенный на первом этапе, показал, что материалы по результатам испытаний классифицируются по определенным свойствам, в зависимости от которых допускается (не допускается) их применение в различных судовых помещениях (жилых, служебных (в том числе кладовых для хранения горючих материалов), хозяйственных, насосных, машинных, постах управления и т. п.). Результаты анализа требований Правил РРР и РМРС показали, что в целом подход к классификации материалов по результатам их испытаний одинаков. Исключение составляет классификация материалов по критерию дымообразования (требования по определению этого показателя Речным Регистром не предъявляются).

Результаты анализа классификации материалов по результатам их испытаний согласно требованиям РРР и РМРС для удобства приведены на рис. 1.

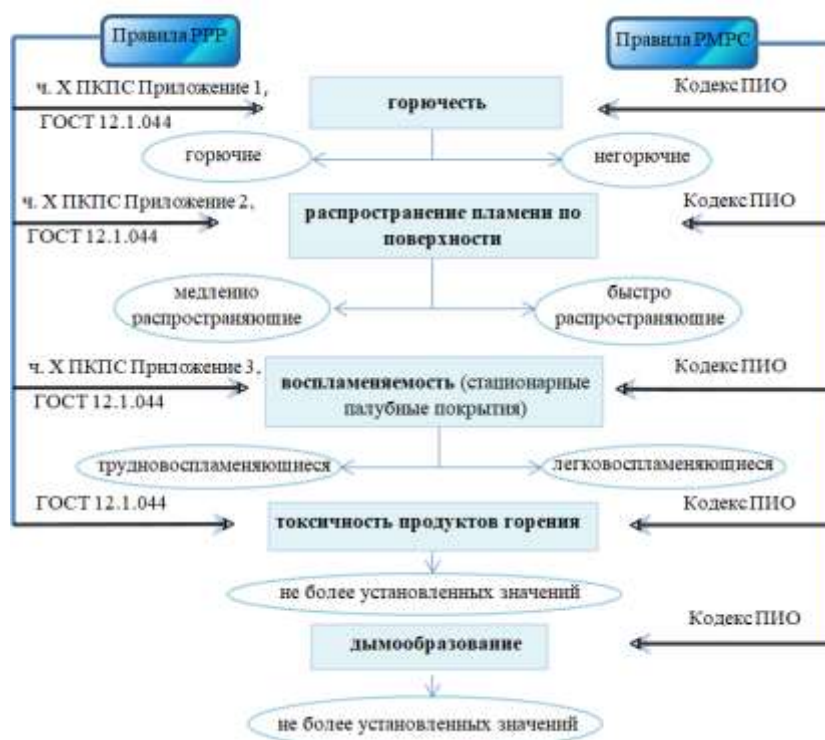


Рис. 1 – Классификация материалов в соответствии с требованиями РРР и РМРС

Однако, несмотря на схожесть подходов в части классификации материалов по результатам их испытаний, в рамках первого этапа анализа было отмечено принципиальное отличие. А именно: как известно, требования РМРС в максимальной степени гармонизированы с унифицированными требованиями, интерпретациями и рекомендациями Международной ассоциации классификационных обществ (далее — МАКО), резолюциями Международной морской организации (ИМО) [5]. По всей видимости, по этой причине в тексте требований Правил РМРС указаны соответствующие ссылки на Международный кодекс по применению процедур испытания на огнестойкость (далее — Кодекс ПИО) в части объема и методов испытаний материалов.

В свою очередь, требования Правил РРР в максимальной степени учитывают условия эксплуатации судов на внутренних водных путях Российской Федерации и базируются на требованиях отечественной законодательной и отраслевой нормативной базы [2]. Соответственно, и в тексте требований Правил РРР приведены ссылки на национальные стандарты, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (далее — ТР ТПБ).

В этой связи становится актуальным вопрос о сопоставлении методик испытаний материалов, а также критериев оценки их результатов.

Сопоставление методик испытаний и критериев оценки их результатов

Как отмечалось выше, в Правилах РМРС непосредственно методики испытаний материалов не приведены, в тексте требований указаны соответствующие ссылки на применение методик, изложенных в Кодексе ПИО. Требования Кодекса ПИО в значительной степени детализированы и помимо непосредственно самих методик испытаний включают в себя область и сферу применения, требования к испытательным лабораториям, указания по оформлению документов (протоколов) и объему испытаний

при одобрении типа материала (или эпизодического одобрения), положения о равноценных заменах, дополнительные требования к различным типам судов, например, пассажирским (требования к занавесям, мягкой мебели и т. п.) [6]. Следует отметить, что по объему требований Кодекс ПИО не уступает требованиям части VI ПКПМС.

В Правилах РРР, напротив, методики испытаний материалов приведены, помимо этого в тексте требований приведены ссылки на выполнение требований национальных стандартов, в том числе в части методик испытаний, требований ТР ТПБ. Анализ методик, приведенных в Правилах РРР и национальных стандартах, на которые в тексте Правил Речного Регистра есть ссылки, показал, что несмотря на некоторые расхождения (например, в количестве образцов и их размерах), в целом методики в достаточной степени гармонизированы между собой.

В отношении требований ТР ТПБ следует отметить следующее. Согласно статье 1 указанного Технического регламента требования, приведенные в нем, применяются, в том числе к пожарно-технической продукции [7]. Как представляется, по этой причине в тексте требований Правил РРР (1.1.2 ч. III ПКПС) в отношении средств пожаротушения (огнетушащие вещества, пожарное оборудование, огнетушители и т. п.), средства индивидуальной защиты (например, аварийные дыхательные устройства) приведена ссылка на обязательное выполнение требований указанного Технического регламента [3].

Несмотря на то, что требования ТР ТПБ напрямую не распространяются на материалы, применяемые на судах, представляется целесообразным сопоставить не только требования РРР и РМРС, но и требования ТР ТПБ в отношении испытаний и применения материалов в части их взаимосвязки. Не секрет, что нередко поставщиком отделочных материалов являются зарубежные компании [8]. При этом эти материалы подвергаются испытаниям на соответствие национальным стандартам, потому как приведены в Перечне продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия требованиям ТР ТПБ и зачастую поставляются с документами, подтверждающими их соответствие указанному Техническому Регламенту.

Пожарная опасность строительных материалов согласно требованиям ТР ТПБ характеризуется следующими свойствами [7]:

- горючесть (негорючие (НГ), слабогорючие (Г1), умеренногорючие (Г2), нормальногорючие (Г3), сильногорючие (Г4));
- воспламеняемость (трудновоспламеняемые (В1), умеренновоспламеняемые (В2), легковоспламеняемые (В3));
- способность распространения пламени по поверхности (нераспространяющие (РП1), слабораспространяющие (РП2), умереннораспространяющие (РП3), сильнораспространяющие (РП4));
- дымообразующая способность (с малой дымообразующей способностью (Д1), с умеренной дымообразующей способностью (Д2), с высокой дымообразующей способностью (Д3));
- токсичность продуктов горения (малоопасные (Т1), умеренноопасные (Т2), высокоопасные (Т3), чрезвычайноопасные (Т4)).

Строительным материалам присваивается класс, с учетом которого его применение может быть допущено в том или ином помещении. Классы пожарной опасности показаны в таблице [7].

Таблица

Классы пожарной опасности строительных материалов

Свойства пожарной опасности	Класс пожарной опасности					
	КМ0	КМ1	КМ2	КМ3	КМ4	КМ5
Горючесть	НГ	Г1	Г1	Г2	Г2	Г4
Воспламеняемость	-	В1	В1	В2	В2	В3
Дымообразующая способность	-	Д1	Д3	Д3	Д3	Д3

Токсичность продуктов горения	-	T1	T2	T2	T3	T4
Распространение пламени по поверхности для покрытия полов	-	РП1	РП1	РП1	РП2	РП4

Результаты сопоставительного анализа требований перечисленных выше нормативных документов в части методик испытаний материалов и критериев оценки их результатов сводятся к следующему:

1. Горючесть

Классификация материалов по критерию горючести одинаковы как по требованиям РРР (Приложение 1 ч. X ПКПС, ГОСТ 12.1.044), РМРС (Кодекс ПИО), так и ТР ТПБ с той лишь разницей, что согласно последнему определяется группа горючести (Г1 - Г4), а в соответствии с требованиями Речного и Морского Регистров группа горючести не определяется, материалы классифицируются как негорючие либо горючие [3, 4, 6, 7, 9, 10].

Методики проведения испытаний по Правилам РМРС (Кодекс ПИО) и РРР, а также критерии их оценки достаточно близки, однако их допускаемые значения различны.

Так, материалы признаются негорючими, если при испытаниях не наблюдалось: повышения средней температуры в печи и на поверхности образца более чем на 50 °С по Правилам РРР и 30 °С согласно требованиям РМРС (Кодекс ПИО) [2, 6]. Требования РМРС более «жесткие».

2. Распространение пламени

Как было показано ранее в табл. 1, согласно ТР ТПБ для установления класса пожарной опасности материалов определение характеристик распространения пламени не требуется.

Методики проведения испытаний по Правилам РМРС и РРР основаны на одинаковых принципах, образцы подвергаются воздействию поля излучения теплового потока, в процессе которого происходит измерение времени воспламенения, распространения пламени и его затухания, и других параметров. Однако критерии оценки результатов различны. Согласно Правилам РРР степень распространения пламени по поверхности характеризуется индексом I (безразмерной величиной), определяемой [3]:

$$I = \left[0,115\beta (t_{\max} - t_0) (\tau_{\max} - \tau_0) \times (1 + 0,2I) \sum_{i=1}^n \tau_i^{-1} / \tau_0 \right]^{0,5},$$

где τ_0 — время до воспламенения верхнего (нулевого) участка поверхности при постоянно горящем запальном пламени, с;

$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_i$ — время, в течение которого фронт пламени проходит конкретный участок поверхности образца, с (i — число участков, по которым распространилось пламя);

l — расстояние, на которое распространилось пламя за время опыта, мм;

t_{\max} — максимальная температура дымовых газов, °С;

τ_{\max} — время от начала опыта до достижения максимальной температуры, с.

β — коэффициент;

t_0 — температура дымовых газов при испытании негорючего образца хризотилцементной плиты.

В свою очередь, в соответствии с требованиями РМРС (Кодекс ПИО) в качестве критерия используется среднее значение поверхностной воспламеняемости, включающее конкретные допускаемые значения характеристик [6]:

CFE — критический поток при затухании, кВт/м²;

Q_{sb} —теплота для устойчивого горения, МДж/м²;

Q_t —общее тепловыделение, МДж;

Q_p — пиковая скорость отведения, кВт.

Ввиду этого сопоставление уровней требований РРР и РМРС без проведения лабораторных испытаний и сопоставления их результатов не представляется возможным.

3. Воспламеняемость

Классификация материалов в соответствии с требованиями РРР, РМРС, ТР ТПБ по критерию воспламеняемости в целом одинаковы. Однако следует отметить следующий нюанс. Согласно требованиям и Правилам РРР и РМРС испытаниям на воспламеняемость подвергаются только стационарные палубные покрытия, тогда как в соответствии с ТР ТПБ — все материалы. Что касается методики испытаний и критериев оценки их результатов, то они различны. Для оценки воспламеняемости палубных покрытий по Правилам РМРС применяется та же методика и критерии, что и при испытаниях на распространение пламени, но с иными допускаемыми значениями. По Правилам РРР материал палубного покрытия следует считать трудновоспламеняющимся, если у образцов не наблюдается горения пламенем продолжительностью более 10 с после прекращения воздействия пламени запальной горелки [3].

4. Токсичность продуктов горения

Методика испытаний по определению токсичности продуктов горения в Правилах Речного Регистра не приведена, однако указано, что отделочные покрытия при горении не должны выделять токсичных газов в опасных концентрациях (класс опасности — не выше умеренно опасного (Т2) по ГОСТ 12.1.044) [3]. Таким образом, подход в отношении классификации материалов по результатам их испытаний, используемый в Правилах РРР и ТР ТПБ единообразный.

Методика испытаний материалов, приведенная в Правилах РМРС (Кодекс ПИО), отлична от методики по ГОСТ 12.1.044.

По РМРС в процессе испытаний определяется значение максимальной концентрации газа, которая не должна превышать [6,11]:

СО — 1450 млн⁻¹;

НСI, HF, HBr — 600 млн⁻¹;

NO_x — 350 млн⁻¹;

HCN — 140 млн⁻¹;

SO₂ — 120 млн⁻¹.

По ГОСТ 12.1.044 показатель токсичности продуктов горения определяется как отношение количества материала к единице объема замкнутого пространства, в котором возникающие при горении газообразные продукты вызывают гибель 50 % подопытных животных [9].

5. Дымообразующая способность

В Правилах Речного Регистра требования к дымообразующей способности при оценке материалов не предъявляются.

Критерии оценки результатов и методы испытаний по ТР ТПБ и Правилам РМРС (Кодекс ПИО) достаточно близки [6, 7, 9, 12]. В качестве критерия используется коэффициент дымообразования (удельная оптическая плотность дыма), который определяется по формуле [6, 7]:

$$D_{\text{max}} = \frac{V}{AL} \ln \frac{T_0}{T_{\text{min}}},$$

где

V — объем камеры;

A — площадь образца, подвергаемая воздействию;

L — длина пути луча света;

T_0, T_{\min} — значения начального и конечного светопропускания.

Заключение

Проанализировав полученные результаты сопоставления в отношении судов смешанного плавания с классом РРР и РМРС можно сделать следующие выводы:

- подход по классификации материалов по результатам их испытаний, приведенный в Правилах РРР и РМРС, в целом одинаков;

- методики испытаний материалов и критерии оценки их результатов, приведенные в Правилах РРР и РМРС в части сравнения уровней безопасности, в большинстве случаев не позволяют получить сопоставимые результаты без проведения лабораторных исследований. Иными словами, к примеру, согласно Правилам РРР материал может считаться медленно распространяющим пламя по результатам испытаний и допускаться для применения в определенных судовых помещениях, а согласно требованиям Правил РМРС этот же материал будет классифицирован как быстро распространяющий пламя;

- требования ТР ПБ и Правил Речного Регистра в достаточной степени согласованы между собой. Объем испытаний, обозначенный в ТР ПБ, превышает объем испытаний согласно Правилам Речного Регистра, но достаточен для подтверждения выполнения требований Правил (с учетом определения индекса распространения пламени согласно статье 13 ТР ПБ). С учетом изложенного, Речным Регистром может быть рассмотрена возможность использования на судах с классом РРР материалов с декларациями и сертификатами соответствия продукции требованиям ТР ПБ. При этом должно быть подтверждено проведение испытания на горючесть (ГОСТ 12.1.044), токсичность (ГОСТ 12.1.044), определение значения индекса распространения пламени (ГОСТ 12.1.044), а класс пожарной опасности должен быть не ниже КМ3 (см. табл. 1). В отношении стационарных палубных покрытий класс пожарной опасности должен быть не ниже КМ2.

Таким образом, несмотря на то, что суда смешанного плавания, состоящие на классификационном учете РРР и РМРС, эксплуатируются при схожих, порой одинаковых районах и условиях плавания, имеются отличия в части требований к испытаниям материалов и критериям их оценки.

Это обстоятельство должно учитываться проектными организациями в особой степени при разработке технической документации (анализе соответствия требованиям Правил), необходимой при переходе судна в класс этих Классификационных обществ, а также специалистами РРР и РМРС в части совершенствования и гармонизации требований к судам смешанного плавания.

Список литературы:

1. Борисов А. М., Гиринов С. Н., Пряничников К. Н. Сравнительный анализ требований Правил Российского морского Регистра судоходства и Правил Российского Речного Регистра к конструкции и прочности судов смешанного плавания классов «R3-RSN» и «M-СП 3,5». / Вестник ВГАВТ. Вып. 59. – Н.Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2019. – С. 27-41.
2. Ефремов, Н. А. Правила Российского Речного Регистра в сопоставлении с европейскими предписаниями для судов внутреннего плавания / Н. А. Ефремов. – М.: Наука, 2011. – 235 с.
3. Российский Речной Регистр. Правила (в 5-и томах). – Правила классификации и постройки судов (ПКПС). – М.: Российский Речной Регистр, 2019 – 1506 с.
4. ФАУ «Российский морской регистр судоходства». Правила классификации и постройки морских судов. Санкт-Петербург, 2019 г.
5. Classification societies – what, why and how?, 2011 – 16 с. URL <http://www.iacs.org.uk/media/3785/iacs-class-what-why-how.pdf>.

6. Resolution MSC.307(88). International code for application of fire test procedures, 2010 – 210 с. URL: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-\(MSC\)/Documents/MSC.307\(88\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-(MSC)/Documents/MSC.307(88).pdf)
7. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 22.07.2008 N123-ФЗ. Доступ из справ.правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Фасхутдинов Р. Нам стоит поискать свою нишу в мировом судостроении //www.Korabel.ru.- 2020.- Вып.1 (47). - С.120 - 125.
9. ГОСТ 12.1.044. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.правовой системы «КонсультантПлюс».
10. ISO 1182. Fire tests — Building materials — Non-combustibility test.
11. ISO 19702 Guidance for sampling and analysis of toxic gases and vapours in fire effluents using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy.
12. ISO 5659-2. Plastics. Smoke generation. Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RUSSIAN MARITIME SHIPPING REGISTER REQUIREMENTS AND THE RUSSIAN RIVER REGISTER REQUIREMENTS FOR COMBUSTIBLE MATERIALS

Dmitrii A. Galochkin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Vladislav S. Kolodyazhnyi

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Comparative analysis results applicable the requirements of the Russian Maritime Register of Shipping Rules and Russian River Register Rules to structural fire protection (combustible materials) of river-sea-going ships are presented. The study purpose is to compare the safety standard levels laid down in the Rules of these classification societies for river-sea-going ships operating in similar areas and navigation conditions. As a research method, we used a point-by-point analysis of the requirements and approaches of these classification societies, as well as international and national regulatory documents on the basis of which they were developed. It is shown that the approach to classifying materials based on their test results, given in the rules of the River and Sea Registers, is generally the same, but there are fundamental differences in methods of testing materials and criteria for evaluating their results (combustibility tests, flame spreading, flammability, combustion products toxicity, smoke-forming capacity). Comparative analysis results are presented and directions for improving and harmonizing the regulatory and technical framework for mixed navigation vessels in relation to methods of testing materials and criteria for evaluating their results are outlined. The information presented in this article can be used for developing the Russian River Register Rules requirements, and also by design engineering organizations for developing technical documentation (analysis of compliance with the Rules requirements) necessary for a vessel transfer into River or Sea Registers classes.

Keywords: Russian River Shipping Register, Russian Maritime Shipping Register, FTP Code, river-sea-going ships, structural fire protection, combustible materials, non-combustibility test, smoke and toxicity test

References:

1. Borisov A.M., Girin S.N., Prjanichnikov K.N. Comparative analysis of the Russian maritime register of shipping rules requirements and the Russian River Register rules requirements to the construction and strength of mixed river-sea-going ships (classes «R3-RSN» and «M-SP 3,5»). Vestnik VGAVT. Issue 59. Nizhny Novgorod, FGBOU VO VGUVT Publ., 2019. pp. 27–41.

2. Efremov N. A. Rules of the Russian River Register in comparison with the European regulations for inland navigation vessels./Moscow, Nauka Publ, 2011. 235 p.
3. Rossiiskii Rechnoi Registr. Pravila (v 5 tomakh). T 2, Pravila klassifikatsii i postroiki sudov (PKPS). Moscow, Rossiiskii Rechnoi Registr, 2019, 1506 p.
4. FAI «Russian Maritime Register of Shipping». Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Saint-Petersburg, 2019.
5. Classification societies – what, why and how?, 2011. 16 p. URL <http://www.iacs.org.uk/media/3785/iacs-class-what-why-how.pdf>.
6. Resolution MSC.307(88). International code for application of fire test procedures, 2010. 210 p. URL: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-\(MSC\)/Documents/MSC.307\(88\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Maritime-Safety-Committee-(MSC)/Documents/MSC.307(88).pdf)
7. Tekhnicheskii reglament o trebovaniiah pozarnoi bezopasnosti. Federalnyi zakon ot 22.07.2008 N 123-FZ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (Accessed on: 17.04.2020).
8. Faskhutdinov R. Nam stoit poiskat svoiy nishu v mirovom sudjstroenii//www.Korabel.ru. 2020. Issue 1 (47). p.120 - 125.
9. GOST 12.1.044. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination. URL: <http://www.consultant.ru>.
10. ISO 1182 Fire tests — Building materials — Non-combustibility test.
11. ISO 19702 Guidance for sampling and analysis of toxic gases and vapours in fire effluents using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy.
12. ISO 5659-2 Plastics. Smoke generation. Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Галочкин Дмитрий Александрович, к.т.н., доцент кафедры «Проектирования и технологии постройки судов», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: gal-dmitrii@yandex.ru

Dmitrii A. Galochkin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Design and shipbuilding technology», Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov str, Nizhny Novgorod, 603951, Russia.

Колодяжный Владислав Сергеевич, магистрант кафедры «Проектирования и технологии постройки судов», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5. e-mail: kolyg13@mail.ru

Vladislav S. Kolodyazhnyi, undergraduate student of the Department of «Design and shipbuilding technology», Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov str., Nizhny Novgorod, 603951, Russia.

Статья поступила 29.10.2020 г.

УДК 681

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.125>

ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ СУДНОМ ПО ТРАЕКТОРИИ НА ОСНОВЕ ГРАДИЕНТА ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ

А.А. Дыда

Морской Государственный университет имени адм. Г. И. Невельского,
г. Владивосток, Россия

К.Н. Чумакова

Морской Государственный университет имени адм. Г. И. Невельского,
г. Владивосток, Россия

И.И. Пушкарёв

Морской Государственный университет имени адм. Г. И. Невельского,
г. Владивосток, Россия

Аннотация. В настоящей работе развивается подход к решению задачи управления движением судна морского судна по маршруту. Предполагается, что маршрут задаётся с помощью путевых точек, соединённых отрезками прямых. Основная идея развиваемого подхода заключается в построении совокупности вспомогательных гладких функций, имеющих экстремум (максимум) на соответствующих участках маршрута. Векторы градиента выбранных вспомогательных функций направлены к соответствующему участку маршрута судна. Сумма векторов градиента вспомогательных функций и вектора, задающего направление, на выбранном участке маршрута, определяет желаемый курс движения судна. Показано, что выбранный алгоритм построения желаемого курса судна обеспечивает его выход на заданную траекторию.

Предложена обобщённая схема систем управления движением судна по маршруту. Её основные блоки обеспечивают ввод путевых точек маршрута, определение параметров уравнений отдельных участков маршрута, задание вспомогательных функций, вычисление векторов градиентов вспомогательных функций для каждого участка маршрута в точке, соответствующей текущим координатам судна, построение нормированных векторов, задающих направление на каждом участке траектории морского судна, задание необходимых параметров алгоритма управления. Предлагаемый подход обладает достаточно высокой степенью общности и может быть использован для управления судном по криволинейным участкам траектории.

Исследуемые алгоритмы были реализованы в среде моделирования Matlab/Simulink. Приводятся результаты численных экспериментов для различных сочетаний параметров алгоритма и начальных условий. Математическое моделирование, разработанной системы управления движением судна по траектории подтвердило эффективность предложенного подхода. Планируется дальнейшее развитие подхода на основе принципов адаптивного управления.

Ключевые слова: морское судно, управление движением, программный курс, алгоритм управления, траектория, маршрут, путевые точки, вектор градиент, вспомогательная функция, направляющий вектор, математическое моделирование

Введение

Основной задачей управления движением судна вдоль траектории является его движение вдоль заданного маршрута [3,9,12,17,18]. Построение желаемой траектории движения судна традиционно выполняется судоводителем. С развитием современных технологий эта задача может быть решена средствами интеллектуальных информационных систем, о чём свидетельствует многочисленное количество публикаций и ис-

следований [1,2,4,6-8,11,13-16]. В настоящей работе предлагается алгоритм управления судном, обеспечивающий его движение вдоль заданной траектории.

Траектория описывает движение объекта в пространстве как функцию от времени. Объектами могут быть летательные аппараты, морские суда, спутники, снаряды и т.д. Траекторию движения объекта можно задать математически через геометрию пути или положение объекта во времени. Пусть следования – это задача двигаться по заранее определённой траектории движения без временных ограничений. Траектория движения судна обычно указывается в виде путевых точек. Каждая путевая точка определяется с использованием декартовых координат (x_k, y_k, z_k) , $k = 1, \dots, n$. Для надводного корабля используют только две координаты (x_k, y_k) [9].

Предположим, что заданный маршрут траектории движения судна представляет собой набор путевых точек с координатами (x_i, y_i) , $i = 0, 1, \dots, n$ [9], соединённых отрезками прямых. На практике заданный маршрут судна часто представляется в виде кусочно-линейной траектории. В данном случае уравнение i -го фрагмента планируемого маршрута, соединяющего путевые точки (x_i, y_i) с (x_{i+1}, y_{i+1}) , имеет вид:

$$k_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}, \quad b_i = y_i - k_i x_i; \quad (1)$$

$$y = k_i x + b_i, \quad (2)$$

где k_i, b_i - соответствующие константы, которые определяются через координаты путевых точек.

Выберем функцию двух переменных $F_i(x, y)$ таким образом, чтобы она достигала экстремума (максимума) на i -ом участке маршрута судна. Для прямолинейных участков траектории судна такая функция может быть выбрана в квадратичной форме, например, следующего вида:

$$F_i(x, y) = -\frac{1}{2}(y - k_i x - b_i)^2 \quad (3)$$

Как следует из построения функции, она имеет максимум на i -ом фрагменте пути. Следовательно, для выбранного вида функции компоненты ее вектора градиента вычисляются согласно выражениям:

$$\text{grad}F_i = \left(\frac{dF}{dx}, \frac{dF}{dy} \right) \quad (4)$$

или

$$\text{grad}F_i = (k_i(y - k_i x - b_i), -y + k_i x + b_i) \quad (5)$$

В силу известных свойств векторы градиенты будут направлены к участкам заданной траектории движения и ортогональны им. С целью построения алгоритма управления движением судна по траектории введем вспомогательный вектор $w_i = (w_{xi}, w_{yi})$ единичной длины, который направлен вдоль i -го участка траектории движения судна. Компоненты введенного вспомогательного вектора могут быть вычис-

лены через координаты путевых точек (x_i, y_i) и (x_{i+1}, y_{i+1}) , которые определяют i -ый участок запланированной траектории движения судна:

$$w_{xi} = \frac{x_{i+1} - x_i}{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}};$$
$$w_{yi} = \frac{y_{i+1} - y_i}{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}};$$
(6)

Далее определим вектор F_{w_i} :

$$F_{w_i} = \text{grad}F_i(x, y) + w_i = \left(\frac{dF_i}{dx_i} + aw_{xi}, \frac{dF_i}{dy_i} + aw_{yi} \right),$$
(7)

где a - весовой коэффициент, $a > 0$

Пример построения поля векторов градиента для функции F_{w_i} показан на рис. 1.

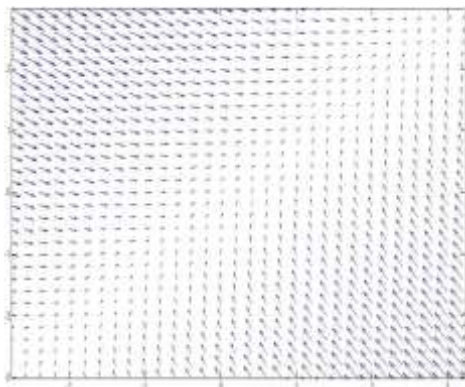


Рис.1. Пример построения поля векторов градиента для функции F_{w_i}

Векторы градиента выбранных вспомогательных функций направлены к соответствующему участку маршрута траектории движения судна. Сумма векторов градиента вспомогательных функций и вектора, задающего направление на выбранном участке маршрута, определяет программный (желаемый) курс движения судна. Вектора F_{w_i} стягиваются к заданной траектории движения судна, и направление вектора может быть принято в качестве программного значения курса судна для достижения им заданной траектории движения вдоль нее.

Отмеченные свойства введенных вспомогательных функций и векторов позволяют предложить алгоритм управления движением судна вдоль запланированного маршрута.

Как следует из приведенных соотношений для выхода судна на i -ый участок его запланированной траектории, программное значение его курса φ_{di} следует вычислять последующей формуле:

$$\varphi_d(t) = \arctg \frac{\frac{dF_i(x_s, y_s)}{dy_s} + ac_{yi}}{\frac{dF_i(x_s, y_s)}{dx_s} + ac_{xi}}, \quad (8)$$

где (x_s, y_s) - координаты судна.

Полученное выражение для вычисления программного значения курса судна является основой подхода и построенной на его основе системы управления движением судна по заданной траектории движения.

Для проверки работоспособности и эффективности предлагаемого подхода было проведено численное моделирование системы управления движением судна по траектории. Модели динамики судна, рулевой машины и регулятора были представлены типовыми линейными звеньями. Модель кинематики судна была представлена следующими дифференциальными уравнениями:

$$\begin{aligned} \dot{x}_c &= V \cos \varphi + V_{cx}, \\ \dot{y}_c &= V \sin \varphi + V_{cy}, \end{aligned} \quad (9)$$

где φ и V - соответственно курс и линейная скорость судна, V_{cx} , V_{cy} - компоненты вектора скорости морского течения.

На рисунке 2 представлена обобщенная схема систем управления движением судна по траектории, разработанная на основе предложенного метода. Блоки схемы обеспечивают ввод путевых точек маршрута, определение вспомогательных функций и параметров уравнений отдельных участков маршрута, нахождение векторов градиентов вспомогательных функций для каждого участка маршрута в точке соответствующей текущим координатам судна, задание нормированных векторов, определяющих направление на каждом участке траектории морского судна, определение необходимых параметров алгоритма управления.

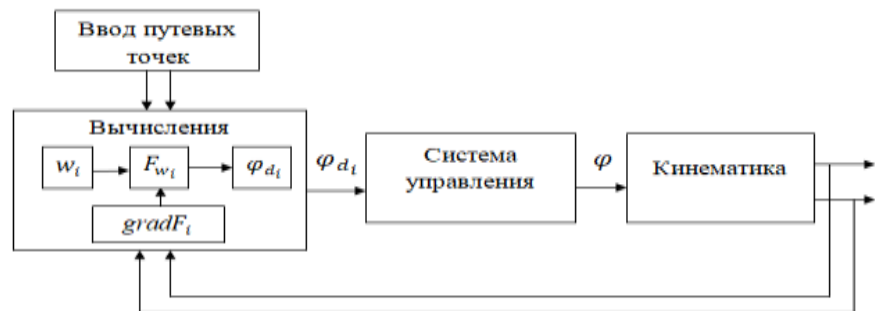


Рис.2. Обобщенная схема систем управления движением судна по траектории, разработанная на основе предложенного алгоритма

В среде Matlab/Simulink [5, 10] была построена соответствующая модель для исследования разработанной системы. MATLAB — высокоуровневый язык и интерактивная среда для программирования, численных расчетов и визуализации результатов, содержащая инструменты для решения широкого спектра научных и прикладных задач. MATLAB включает в себя современные инструменты для анализа данных, разработки алгоритмов и создания различных моделей и приложений.

На рисунке 3 представлена обобщенная схема систем управления движением судна по маршруту, разработанная на основе предложенного алгоритма, реализованная в среде Matlab/Simulink.

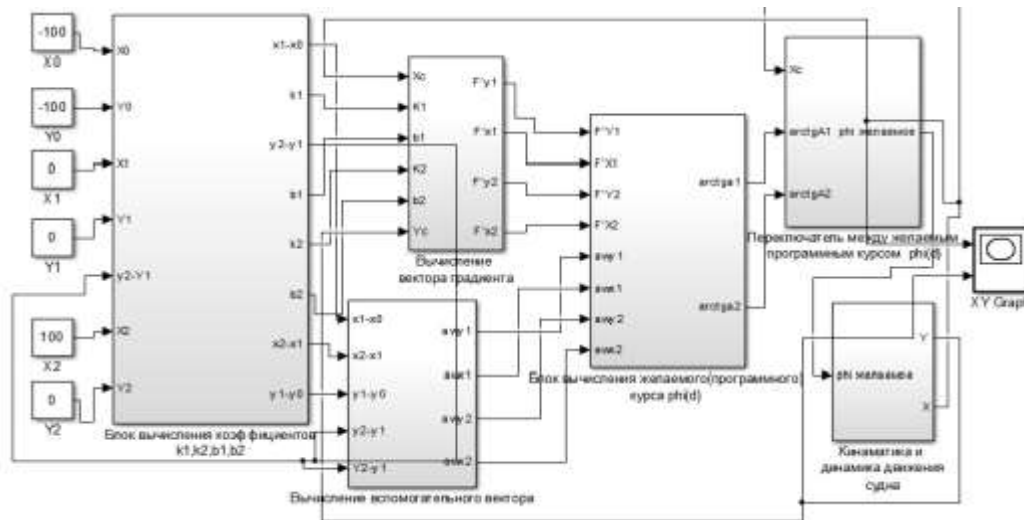


Рис.3. Обобщенная схема системы управления движением судна по маршруту, реализованная в среде Matlab/Simulink

На рисунке 3 приведена обобщенная схема для моделирования системы управления движением судна по траектории. Схема включает в себя следующие блоки: блок вычисления коэффициентов k_i , b_i , блок вычисления вектора градиента, блок вычисления вспомогательного вектора, блок вычисления желаемого (программного) курса $\phi(d)$, блок кинематики и динамики движения судна, переключатель. Переключатель обеспечивает переход с одного участка прямолинейной траектории на другой. В численном эксперименте желаемая траектория задавалась двумя отрезками прямых линий.

На рисунках 4 -7 приведены результаты численных экспериментов. Моделирование системы управления движением судна по траектории (рисунки 4а, б) при различных значениях $\varphi(t_0)$ и параметра a показало, что отклонение реальной траектории движения (синяя линия) от заданной траектории (красная линия) незначительно.

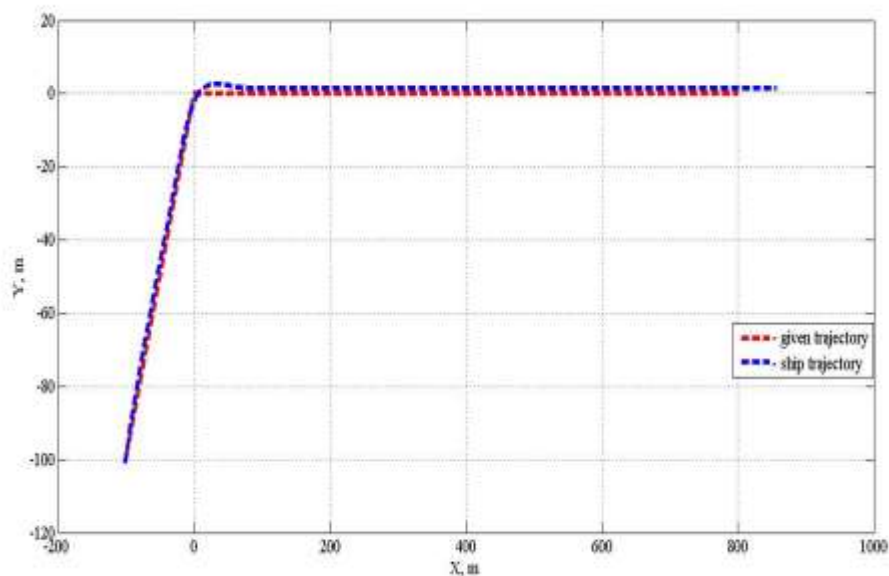


Рис.4а. Движение судна вдоль заданной траектории (при $a=500, \varphi(t_0) = 0,9$ рад)

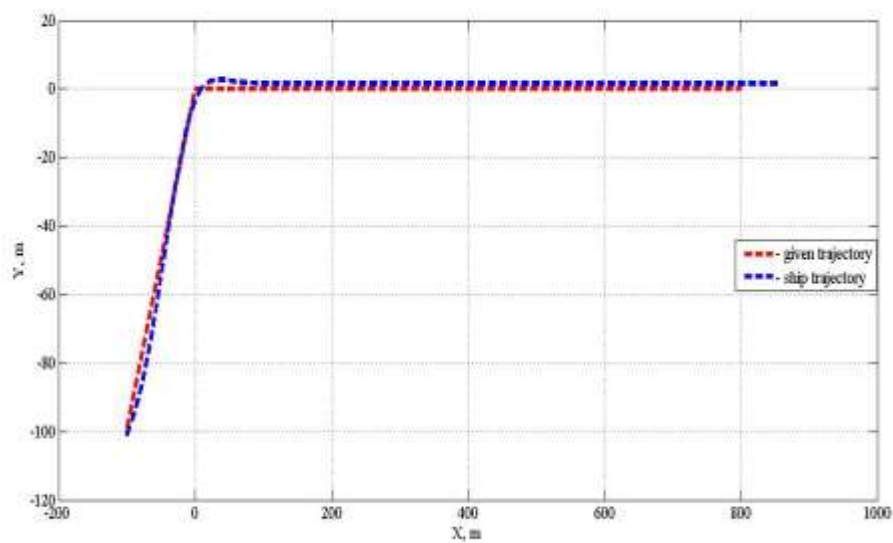


Рис.4б. Движение судна вдоль заданной траектории ($a = 100, \varphi(t_0) = 0,5$ рад)

На рисунках 5 -7 показаны графики, которые иллюстрируют пример изменения курса судна $\varphi(t)$ в процессе движения судна, расстояние $r(t)$ от судна до заданного, а также угла поворота пера руля $\delta(t)$. При моделировании было принято считать, что компоненты вектора скорости течения V_{cx}, V_{cy} равны нулю. В дальнейшем предполагается задать значения компонентам вектора скорости и проверить работу предложенного подхода

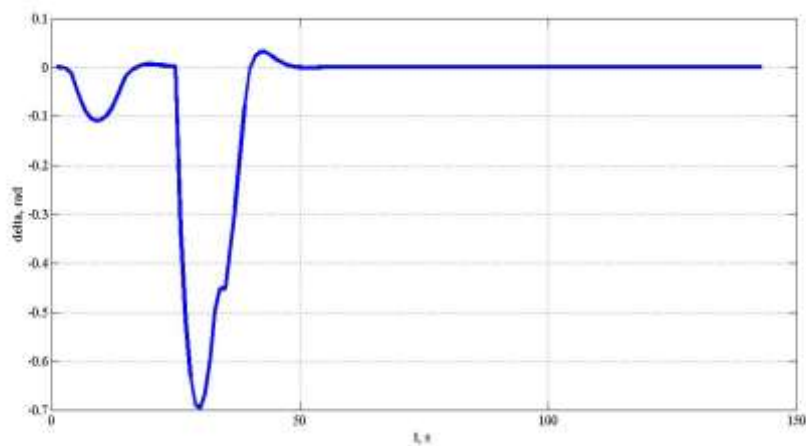


Рис.5. График изменения угла поворота пера руля $\delta(t)$

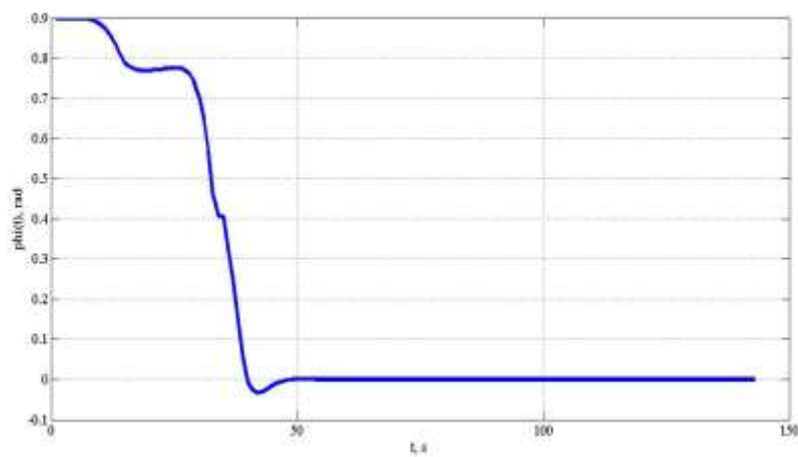


Рис.6. График изменения курса судна при выходе на заданную траекторию движения

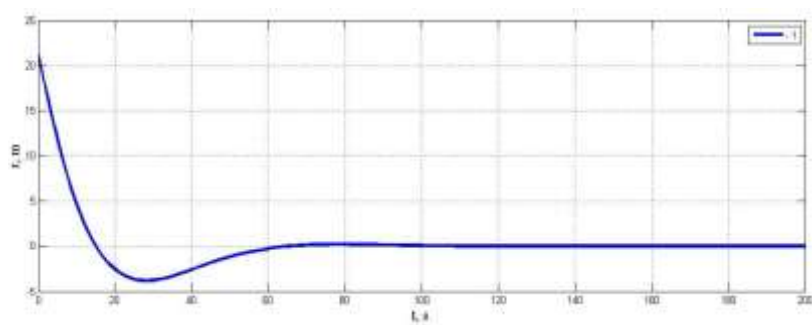


Рис.7. График изменения расстояния от судна до заданной траектории движения

Заключение

Предложенный алгоритм, основанный на использовании градиента вспомогательной функции, позволяет обеспечивать движение судна вдоль заданного маршрута. Математическое моделирование разработанной системы управления движением судна по траектории подтвердило эффективность предложенного подхода. Дальнейшее совершенствование разработанного алгоритма планируется вести с использованием более сложных моделей динамики и кинематики, с учетом влияния возмущающих воздействий внешней среды. Планируется проверка работы предложенного подхода путём проведения экспериментов на катере и дальнейшее развитие подхода на основе принципов адаптивного управления. Предлагаемый подход обладает достаточно высокой степенью общности и может быть использован для управления судном по криволинейным участкам траектории.

Список литературы:

1. Васьков, А.А. Управление движением судна по траектории методами обратных задач динамики [Текст]/ Изв. Вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки.– 2003.– Спецвыпуск.– С. 30-34.
2. Васьков, А.С., Мироненко А.А. Управление программным движением судна [Текст]/ А.С. Васьков, А.А. Мироненко// Эксплуатация морского транспорта.– 2015.– С. 40-49.
3. Дёмин С.И., Жуков Е.И., Кубачев Н.А. Управление судном: Учеб. Для вузов. – М.: Транспорт, 1991. – 359 с.
4. Дорри М.Х. «Автоматизация управления морскими подвижными объектами», Проблемы управления, 2009, № 3.1, 94–102.
5. Дьяконов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник [Текст]/ В.Дьяконов, В.Круглов. – СПб.: Питер, 2002. – 448 с.
6. Мироненко А.А. Идентификация траектории движения судна. XII ВСЕРОССИЙСКОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ВСПУ-2014.
7. Пат. 2465169 Российская Федерация Способ управления траекторией движения судна. [Текст] / Дорри М.Х., Острецов Г.Э., Рошин А.А.; заявитель и патентообладатель Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН; заявл. 21.04.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. №30.
8. Пат. 2501064 Российская Федерация Способ управления траекторией движения судна. [Текст] / Юдин Ю.И., Пашенцев С.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет" (ФГБОУВПО "МГТУ"); заявл. 11.13.2012; опубл. 10.12.2013, Бюл. №34.
9. Пшихопов В.Х. Методы автоматического управления морскими подвижными объектами: монография / Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Гуренко Б.В.; Южный Федеральный университет. – Ростов – на – Дону – Таганрог: Издательство Южного Федерального университета, 2016. – 268с.
10. Сирота А.А. Методы и алгоритмы анализа данных и их моделирование в Matlab: учеб. пособие. – СПб.: БХВ - Петербург, 2016. – 384 с.: ил. – (Учебное пособие).
11. Смоленцев С. В. Автоматический синтез решений по расхождению судов в море / Сергей Викторович Смоленцев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2016. - №2(36). - С. 7-16. DOI: 12.21821/2309-5180-2016-8-2-7-16.
12. Шарлай Г.Н. Управление морским судном: учебное пособие/ Г.Н.Шарлай. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. – 543с.
13. Юдин Ю.И., Сотников И. И. Математические модели плоскопараллельного движения судна. Классификация и критический анализ // Вестник МГТУ. 2006. Т. 9, № 2. С. 200-208.
14. Blaich, M., Rosenfelder M., Schuster M., Bittel, O. & Reuter J. 2012a. Extended Grid Based Collision Avoidance Considering COLREGs for Vessels. In Proc. of the 9th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft (MCMC).
15. Davis, P. V., Dove, M. J. & Stockel, C. T. 1982. A computer simulation of multi-ship encounters. Journal of Navigation 35(2):347-352.
16. Gasparetto A., Boscaroli P., Lanzutti A., Vidoni R. Path Planning and Trajectory Planning Algorithms: A General Overview. Motion and Operation Planning of Robotic Systems 29: 3-27, 2015.

17. Kamil F, Tang SH, Khaksar W, Zulkifli N, Ahmad SA (2015) A Review on Motion Planning and Obstacle Avoidance Approaches in Dynamic Environments. *Adv Robot Autom* 4: 134. doi: 10.4172/2168-9695.1000134.2.
18. Tang SH, Khaksar W, Ismail NB, Ariffin MKA (2012) A Review on Robot Motion Planning Approaches. *Pertanika Journal of Science and Technology* 20: 15-29.

AUXILIARY FUNCTION GRADIENT APPROACH TO MARINE VEHICLE PATH-FOLLOWING CONTROL

Alexander A., Dyda

Maritime State University named after Admiral Nevelskoy, Vladivostok, Russia

Ksenya N., Chumakova

Maritime State University named after Admiral Nevelskoy, Vladivostok, Russia

Igor I., Pushkarev

Maritime State University named after Admiral Nevelskoy, Vladivostok, Russia

Abstract. This paper develops an approach to solving the problem of controlling the movement of a ship along a route. It is assumed that the route is specified using waypoints connected by line segments. The main idea of the developed approach is to construct a set of auxiliary smooth functions having an extremum (maximum) on the corresponding sections of the route. The gradient vectors of the selected auxiliary functions are directed towards the corresponding section of the vessel's route. The sum of the vectors of the gradient of the auxiliary functions and the vector that specifies the direction on the selected section of the route determines the desired course of the vessel movement. It is shown that the chosen constructing algorithm for the desired vessel course ensures its output to the given trajectory.

A generalized scheme of the ship traffic control systems along the route is proposed. Its main blocks provide input of route waypoints, determination of the parameters of the equations of individual sections of the route, assignment of auxiliary functions, calculation of gradient vectors of auxiliary functions for each section of the route at the point corresponding to the current coordinates of the vessel, construction of normalized vectors that specify the direction on each section of the trajectory of a sea vessel, assignment necessary parameters of the control algorithm. The proposed approach has a fairly high degree of generality and can be used to control the ship along curved trajectory sections.

The algorithms under study were implemented in the Matlab / Simulink modeling environment. Results of numerical experiments for various combinations of algorithm parameters and initial conditions are presented. Mathematical modeling of the developed control system for the movement of the vessel along the trajectory confirmed the effectiveness of the proposed approach. Further development of the approach based on the principles of adaptive management is planned.

Keywords: marine ship , pass-following control, program course, control algorithm, trajectory, route, waypoints, gradient vector, auxiliary function, direction vector, mathematical modelin.

References:

1. Vaskov, A.A. Trajectory control of the ship by the methods of inverse problems of dynamics [Text] / *Izv. Universities. North Caucasus. region. Tech. Science.* - 2003. - Special issue. - P. 30-34.
2. Vaskov, A.S., Mironenko A.A. Control of the programmed movement of the vessel [Text] / A.S. Vaskov, A.A. Mironenko // *Operation of sea transport.* – 2015. – P. 40-49.
3. Demin S.I., Zhukov E.I., Kubachev N.A. Ship management: Proc. For universities. - M.: Transport, 1991. -- 359 p.
4. Dorrie M.H. "Automation of control of marine mobile objects", *Problems of management*, 2009, No. 3.1, 94–102.
5. Dyakonov V. MATLAB. Analysis, identification and modeling of systems. Special reference book [Text] / V. Dyakonov, V. Kruglov. - SPb.: Peter, 2002. -- 448 p.

6. Mironenko A.A. Identification of the vessel's trajectory. XII ALL-RUSSIAN MEETING ON PROBLEMS OF GSPU-2014 MANAGEMENT.
7. Pat. 2465169 Russian Federation Method of vessel trajectory control. [Text] / Dorri M.Kh., Ostretsov G.E., Roshchin A.A. ; applicant and patentee Institution of the Russian Academy of Sciences Institute of Management Problems. V.A. Trapeznikov RAS; declared 04/21/2011; publ. 27.10.2012, Bul. No. 30.
8. Pat. 2501064 Russian Federation Method of vessel trajectory control. [Text] / Yudin Yu.I., Pashentsev S.V. ; applicant and patentee Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Murmansk State Technical University" (FGBOUVPO "MSTU"); declared 11.13.2012; publ. 10.12.2013, Bul. No. 34.
9. Pshikhopov V.Kh. Methods of automatic control of marine mobile objects: monograph / Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu., Gurenko B.V. ; South Federal University. - Rostov - on - Don - Taganrog: Publishing House of the Southern Federal University, 2016. - 268p.
10. Orphan A.A. Methods and algorithms for data analysis and their modeling in Matlab: textbook. allowance. - SPb. : BHV - Petersburg, 2016. -- 384 p. : ill. - (Tutorial).
11. Smolentsev S. V. Automatic synthesis of solutions for diverging vessels at sea / Sergei Viktorovich Smolentsev // Bulletin of the State University of Marine and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov. - 2016. - No. 2 (36). - С. 7-16. DOI: 10.21821 / 2309-5180-2016-8-2-7-16.
12. Sharlai G.N. Management of a sea vessel: a study guide / G.N. Sharlay. - Vladivostok: Mor. state un-t, 2011. - 543p.
13. Yudin Yu.I., Sotnikov II Mathematical models of plane-parallel movement of the vessel. Classification and critical analysis // Vestnik MGTU. 2006. T. 9, No. 2. S. 200-208.
14. Blaich, M., Rosenfelder M., Schuster M., Bittel, O. & Reuter J. 2012a. Extended Grid Based Collision Avoidance Considering COLREGs for Vessels. In Proc. of the 9th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft (MCMC).
15. Davis, P. V., Dove, M. J. & Stockel, C. T. 1982. A computer simulation of multi-ship encounters. Journal of Navigation 35 (2): 347-352.
16. Gasparetto A., Boscaroli P., Lanzutti A., Vidoni R. Path Planning and Trajectory Planning Algorithms: A General Overview. Motion and Operation Planning of Robotic Systems 29: 3-27, 2015.
17. Kamil F, Tang SH, Khaksar W, Zulkifli N, Ahmad SA (2015) A Review on Motion Planning and Obstacle Avoidance Approaches in Dynamic Environments. Adv Robot Autom 4: 134.doi: 10.4172 / 2168-9695.1000134.2.
18. Tang SH, Khaksar W, Ismail NB, Ariffin MKA (2012) A Review on Robot Motion Planning Approaches. Pertanika Journal of Science and Technology 20: 15-29.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Дыда Александр Александрович, д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматических и информационных систем, «Морской Государственный университет им. адм. Г. И.Невельского» (ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г. И. Невельского»), 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50-а, e-mail: adyda@mail.ru

Чумакова Ксения Николаевна, аспирант, «Морской Государственный университет им. адм. Г.И.Невельского» (ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г. И. Невельского»), 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50-а, e-mail: ksushechka_1991@mail.ru

Пушкарев Игорь Игорьевич, аспирант, «Морской Государственный университет им. адм. Г. И. Невельского» (ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»), 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50-а, e-mail: B_r_i_g88@mail.ru

Alexander A. Dyda, Doctor in Engineering Science, Professor of the Department of Automatic and Information Systems, Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, 50-a, st. Verkhneportovaya, Vladivostok, 690059

Ksenya N. Chumakova, graduate student, Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, 50-a, st. Verkhneportovaya, Vladivostok, 690059

Igor I. Pushkarev, graduate student, Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, 50-a, st. Verkhneportovaya, Vladivostok, 690059

Статья поступила 17.09.2020 г.

УДК 629.563.2:519.81

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.126>

СИСТЕМА КРИТЕРИЕВ ДЛЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ БУРОВЫХ УСТАНОВОК В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

О.А. Иванова^{1,2}

¹АО «ЦКБ «Коралл», г. Севастополь, Россия

²Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

ORCID: 0000-0002-3034-0968

И.Л. Благовидова^{1,2}

¹АО «ЦКБ «Коралл», г. Севастополь, Россия

²Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

ORCID: 0000-0003-2340-9821

А.В. Родькина

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

ORCID: 0000-0002-4593-4259

Аннотация. В статье приведен анализ существующих методов многокритериальных оценок. Для структуризации комплексной задачи сопоставления и оценки применимости различных типов буровых установок для расширения сезона бурения в суровых климатических условиях, при воздействии ледовых нагрузок, предлагается использование метода анализа иерархий, разработанного Т. Саати, и метода экспертных оценок. На основе экспертного опроса определяется приоритет критериев для метода анализа иерархий. Применение метода экспертных оценок позволяет учесть существующий опыт проектирования и эксплуатации морских буровых сооружений. При использовании простого математического аппарата были определены значения весовых коэффициентов на основании результатов экспертного опроса. Разработана программа в MS Excel для получения численной оценки предпочтений критериев. Результаты исследования могут использоваться проектными организациями на ранней стадии проектирования, т. е. для концептуальной стадии разработки проекта, при значительной нехватке природно-климатической и геологической информации о месте строительства. Полученные результаты работы позволяют определить наиболее объективную и эффективную форму выбора приемлемого варианта конструкции сооружения с учетом возможной минимизации ее стоимости, обеспечения безопасности и надежности на весь эксплуатационный период.

Ключевые слова: анализ, критерии, численные оценки, буровая платформа, диапазон глубин, сооружения, уровни иерархии, матрица.

Введение

Большинство энергоресурсов России находится в суровых климатических условиях арктических морей. Существуют различные типы буровых установок и буровых судов (далее – сооружений): морские стационарные платформы (МСП), полупогружные плавучие буровые установки (ППБУ), самоподъемные плавучие буровые установки (СПБУ), буровые суда и др. Актуальной задачей является определение типов сооружений, которые возможно применять в суровых климатических условиях арктических морей для расширения сезона бурения [1, 2].

При проведении технико-экономического анализа различных сооружений используются методы многокритериальных оценок, такие как: регрессионный или корреляционный анализ, индивидуальные и коллективные экспертные оценки, метод сценариев, метод компенсации, метод иерархий и другие методы и их комбинации.

Для концептуальной стадии разработки проекта наиболее оптимальным является применение метода экспертных оценок, так как на этой стадии, как правило, нет в достаточном объеме информации о месте строительства, о природно-климатических и геологических условиях. Применение метода экспертных оценок на начальной стадии проектирования позволит определить наиболее объективную и эффективную форму выбора приемлемого варианта конструкции сооружения с учетом возможной минимизации ее стоимости, обеспечения безопасности и надежности на весь эксплуатационный период.

Метод экспертных оценок – это метод организации работы со специалистами-экспертами и обработки их мнений.

Работа с экспертами проводится в следующей последовательности: осуществляется подбор специалистов, участвующих в экспертизе на основании их профессиональной компетентности; прорабатываются специальные анкеты и опросные листы; разрабатывается процедура опроса экспертов. Затем выполняется опрос экспертов согласно разработанной процедуре. Полученные от экспертов данные анализируются с целью подготовки оценок для принятия решения выполняется синтез объективной и субъективной информации.

Принципы проведения экспертных оценок:

1. Независимость – отсутствие предпочтительности тому или иному варианту.
2. Открытость – вовлечение разработчиков в процесс выполнения работы путем согласования с ними основных решений и промежуточных результатов.
3. Многокритериальность – оценка большого количества основных качеств, влияющих на показатели альтернатив.
4. Комплексность – оценка сооружения не только как изделия, но и его приспособленности к различным внешним условиям.
5. Иерархичность – разделение критериев по степеням важности с учетом назначения альтернативы, степени влияния на основные показатели и другие факторы.

Помимо вышеуказанных принципов, существует ряд требований к экспертам, например: компетентность в исследуемой проблеме, эрудированность, креативность, независимость, всесторонность и другие.

Одним из наиболее важных условий эффективности метода экспертных оценок является подбор качественного состава экспертной комиссии.

Качественный состав экспертной комиссии – важное условие эффективности экспертного метода. Во всех случаях экспертиза должна проводиться высококвалифицированными, компетентными и опытными специалистами.

Основные преимущества метода экспертных оценок [3] заключаются в следующем:

1. Метод не требует большого количества исходной информации.
2. Экспертные оценки позволяют оценить варианты не только по количественным, но и по качественным характеристикам.
3. Метод позволяет учесть степень влияния каждого критерия на поставленную в работе цель.

К недостаткам можно отнести сложность подбора экспертов широкой специализации, а также зависимость полученных результатов от уровня и квалификации эксперта [4–6].

Разработка способа и процедуры опроса экспертов

Для процедуры опроса экспертов выбран метод шкальных оценок, который подразумевает применение различных специально разработанных шкал для количественной оценки информации, полученной при анкетном опросе экспертов. Построение шкалы оценок может дать цельную аналитическую информацию об экспертных оценках. Предлагается 10-балльная шкала оценивания (таблица 1).

Таблица 1

Оценочная шкала метода шкальных оценок

Интенсивность относительной важности	Определение	Объяснение
0	Несравнимы	Эксперт затрудняется в сравнении
1	Равная важность	Равный вклад двух критериев
3	Умеренное превосходство одного над другим	Опыт и суждения дают легкое превосходство одному критерию над другим
5	Существенное или сильное превосходство	Опыт и суждения дают осязаемое превосходство одному критерию над другим
7	Значительное превосходство	Одному из критериев дается настолько сильное превосходство, что оно становится практически значительным
9	Очень сильное превосходство	Очевидность превосходства одного критерия над другим подтверждается наиболее сильно
2, 4, 6	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями	Применяются в компромиссном случае
Обратные величины приведенных чисел	Если при сравнении одного критерия с другим получено одно из вышеуказанных чисел (например – 3), то при сравнении второго критерия с первым получим обратную величину (т.е. 1/3)	

Сбор экспертной информации осуществляется с помощью разработанного опросного листа, который представляет собой совокупность таблиц. В процессе заполнения эксперт отвечает на поставленные вопросы для каждого типа сооружения. Для каждого критерия в опросном листе заполняется поле только выше главной диагонали, так как часть матрицы ниже нее является обратной матрицей и расчетной областью. Эксперт может также высказать свое мнение в свободной неформализованной манере, поясняя или комментируя проводимый экспертный анализ. Для этого эксперт использует поле для заметок «Примечание». Пример формы опросного листа, состоящий из матриц попарных сравнений 1-го (A_i) и 2-го уровней (C_i) представлен в таблице 2 для погружных платформ для глубин 60–120 м и таблице 3 для плавучих сооружений для глубины моря от 120 м.

В качестве экспертов могут быть привлечены главные конструктора или главные инженеры проектов, чья квалификация и компетентность подтверждена включением в Национальный реестр специалистов [3, 7].

Таблица 2

Опросный лист (погружные платформы)

Эксперт _____		(ФИО)				
Тип сооружения _____		(глубина моря _____)				
Критерии 1-го уровня:		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
Опыт эксплуатации	A_1	1				
Транспортировка	A_2		1			
Продолжительность сезона бурения	A_3			1		
Ледостойкость	A_4				1	
Автономность	A_5					1

(ПБУ и СПБУ, устанавливаемых как опирающиеся на грунт)									
Критерии 2-го уровня:		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
Обеспечение осадки при транспортировке	C ₁	1							
Обеспечение устойчивости	C ₂		1						
Масса	C ₃			1					
Габариты	C ₄				1				
Отрыв от грунта	C ₅					1			
Устойчивость	C ₆						1		
Постановка/снятие с точки	C ₇							1	
Мобильность	C ₈								1
ПРИМЕЧАНИЕ									

Таблица 3

Опросный лист (плавучие сооружения)

Эксперт _____						
(ФИО)						
Тип сооружения (глубина моря)						
Критерии 1-го уровня:	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	
Опыт эксплуатации	A ₁	1				
Транспортировка	A ₂		1			
Продолжительность сезона бурения	A ₃			1		
Ледостойкость	A ₄				1	
Автономность	A ₅					1
(ППБУ и СПБУ, с судовыми обводами, рассматриваемые как плавучие сооружения)						
Критерии 2-го уровня:	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
Осадка	C ₁	1				
Остойчивость	C ₂		1			
Качка	C ₃			1		
Непотопляемость	C ₄				1	
Перемещение	C ₅					1
Позиционирование на точке	C ₆					1

Структуризация и решение комплексной задачи о возможности реализации проектируемого сооружения для заданных внешних условий

Для структуризации комплексной задачи сопоставления и оценки применимости различных типов БУ для расширения сезона бурения предлагается использование метода анализа иерархий, разработанного Т. Саати. Этот метод заключается в разложении проблемы на более простые составляющие части и поэтапном установлении приоритетов оцениваемых критериев с использованием парных (попарных) сравнений [8]. Приоритет критериев определяется на основе экспертного опроса и позволяет учесть различные мнения, а сами значения весовых коэффициентов рассчитываются при использовании простого математического аппарата. Решение проблемы представляет собой поэтапное установление приоритетов.

Цель задачи – установить приоритеты критериев и оценить каждую из альтернатив (тип бурового сооружения) по критериям, выявив самую оптимальную из них, для рассматриваемых условий бурения.

Разработана программа в MS Excel, алгоритм работы которой ниже.

В начале работы программы попарно сравниваются элементы одного уровня иерархии, определяется какой из них важнее и более вероятен. Затем дается количественная оценка на основе шкалы относительной важности. Таким образом строится матрица попарных сравнений в соответствии со вторым этапом метода анализа иерархий [9].

В таблицах 2, 3 представлены в общем виде матрицы попарных сравнений (матрица А, С), которые составляются для каждого типа бурового сооружения и затем сопоставляются между соответствующими типами буровых технических средств в зависимости от глубины постановки.

Для выбора критериев, позволяющих оценить и сравнить типы рассматриваемых сооружений для суровых климатических условий, а именно для Арктического шельфа, был применен следующий алгоритм:

Условное разделение по глубинам моря на месте бурения

Глубина постановки на месте бурения – один из основных факторов, влияющих на выбор типа буровых плавсредств, поэтому этот фактор является первоочередным при выборе критериев сравнения.

Условное разделение по глубине моря, для Арктического шельфа принято следующее:

- до 60 м;
- от 60 до 120 м;
- от 120 м.

Выбор типа сооружения в зависимости от глубины моря

Исходя из мировой практики, наличия опыта отечественного проектирования и строительства буровых платформ для добычи нефти и газа, буровые средства были классифицированы по способу их установки над скважиной в процессе бурения с выделением их в две основные группы [10, 11]:

- опирающиеся при бурении на морское дно;
 - производящие бурение в плавучем состоянии.
- Учитывая (1) и (2) были приняты следующие типы буровых сооружений:
- до 60 м рассматривались ПБУ и СПБУ;
 - от 60 до 120 м СПБУ и ППБУ (как опирающиеся на опорное основание);
 - от 120 м ППБУ (как плавучее сооружение) и суда с судовыми обводами.

В данном случае рассматривались сооружения для ведения поисково-разведочного бурения, поэтому применение стационарных сооружений не анализировалось.

Разделение критериев на уровни

К критериям первого уровня были отнесены критерии, которые учитываются для любого типа бурового сооружения в условиях арктического шельфа [12–16]:

- Опыт эксплуатации.
- Транспортировка:
 - за счет привлечения дополнительно судов (постановка на судно);
 - перемещение между точками.
- Продолжительность бурения [17]:
 - круглогодичное (без устройства свайной защиты или установки дополнительных защитных сооружений, например, плавучих барж);
 - круглогодичное (с применением свайной защиты или установки дополнительных защитных сооружений, например, плавучих барж или какого-либо защитного сооружения);
 - ограничениями по толщине льда (безледовый период / в мелкобитом льду).
- Ледостойкость [18]:
 - конструктивное обеспечение;
 - применение дополнительных конструкций (кожухов; защитных оболочек из сборных элементов типа катушек; конического манжета в зоне действия льда).
- Автономность по технологическим запасам.

Критерии второго уровня проверяются на соответствие нормативным требованиям и включают расчетные оценки таких величин, как горизонтальное и вертикальное перемещение, обеспеченность расчетных показателей нормативным требованиям: устойчивости, остойчивости, непотопляемости, качки. А также в эту группу относятся критерии, которые оказывают косвенную/прямую зависимость на изменение критериев, соответствующих нормативным требованиям [19, 20].

Оценка и выбор оптимального варианта сооружения

На этом этапе выполняют составление матриц попарных сравнений критериев 1-го уровня (таблица 2, 3) и 2-го уровня (матрица А, С), которые составляются для каждого типа бурового сооружения и затем сопоставляются между соответствующими типами буровых технических средств в зависимости способа их установки над скважиной в процессе бурения, как опирающиеся при бурении на морское дно или как производящие бурение в плавучем состоянии, а, следовательно, с учетом глубины постановки на точку [8, 21].

В диапазоне глубин до 60 м применяются погружные буровые установки и СПБУ, для которых рассматривались следующие критерии второго уровня (таблица 2); такие же критерии рассматриваются и для диапазона глубин 60–120 м, так как применяемые там ППБУ рассматриваются не как плавучие установки при бурении, а как погружные:

- Обеспечение осадки при транспортировке [9]:
 - за счет собственных систем (балластированием);
 - за счет использования дополнительных средств.
- Обеспечение остойчивости:
 - при транспортировке;
 - при погружении;
 - при всплытии.
- Масса.

- Габариты (транспортируется к месту установки):
 - цельная конструкция;
 - отдельными модулями.
 - Отрыв от грунта:
 - самоотрыв (балластировка, без использования специальных устройств);
 - с применением дополнительных устройств (устройство обратного клапана).
 - Устойчивость:
 - платформа гравитационная (за счет собственного веса);
 - забивка свай;
 - выемка нестабильного грунта;
 - применение дополнительных конструкций (матов, металлических оболочек, подкрепленных набором ребер-юбок).
 - Постановка и снятие с точки:
 - без привлечения специальных плавучих средств (плавучих кранов);
 - с применением специальных плавучих средств (плавучих кранов).
 - Мобильность (возможность повторного применения) [16]:
 - платформы в целом (т.е. с опорным основанием после демонтажа);
 - опорного основания (для постановки не него очередной платформы);
 - буровой платформы (для установки ее на другое опорное основание);
 - необходимость срезания опорных колонн (выполнение работ по реконструкции).
- Иерархия критериев для сравнения различных типов буровых установок для глубины моря до 60 м и для глубин 60–120 м представлена на рис. 1.

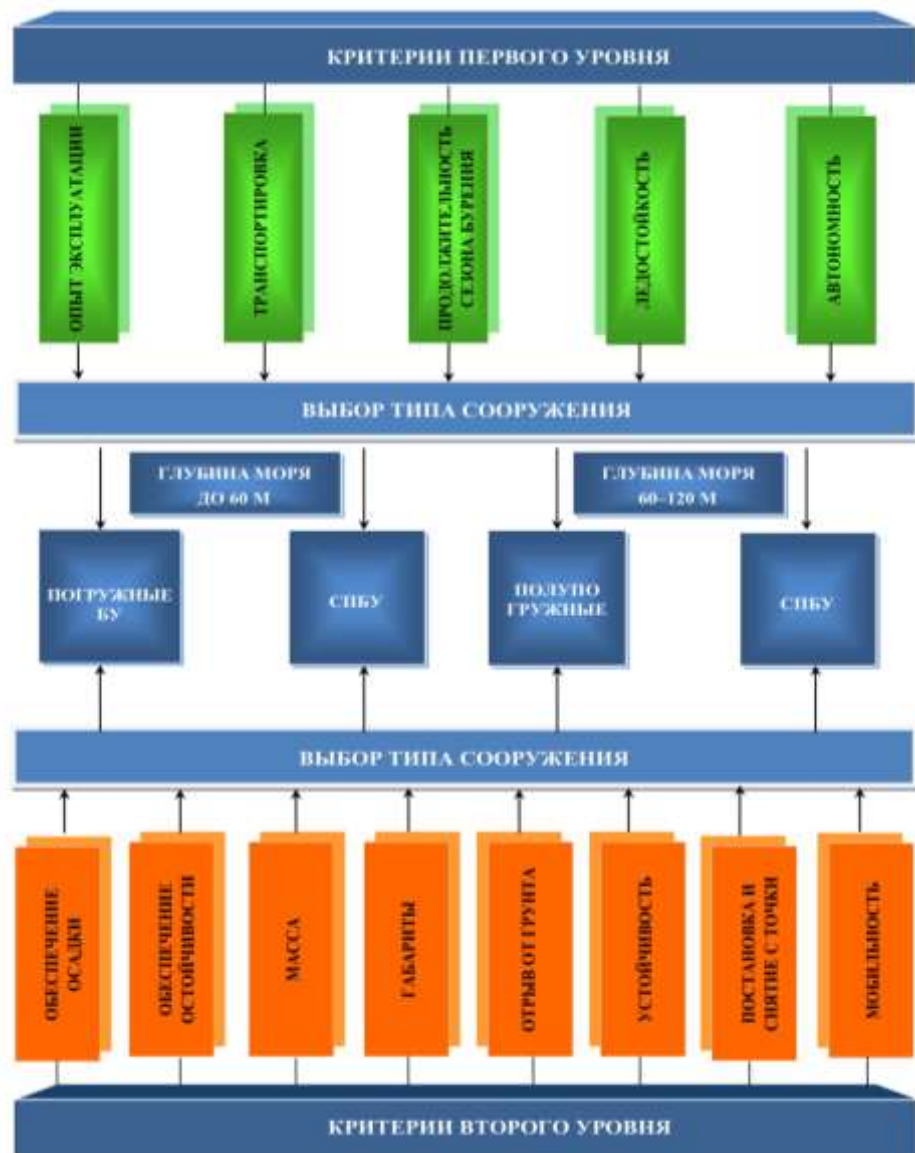


Рис. 1. Иерархия критериев для сравнения различных типов буровых установок для глубины моря до 60 м и для глубин 60–120 м

Для диапазона глубин от 120 м применяются полупогружные буровые установки (как плавучие) и БУ с корпусом судового типа, для которых рассматривались следующие критерии второго уровня (таблица 3) [22]:

- Осадка
- при транспортировке;
- в рабочем состоянии.
- Остойчивость:
- при выполнении морских операций;
- во время буксировки;
- во время установки на месторождении.
- Качка.

- Непотопляемость.
- Перемещения (вертикальные, горизонтальные в точке постановки).
- Позиционирование на точке:
 - система динамического позиционирования (DYNPOS);
 - система динамического позиционирования и якорной системы удержания турсельного типа;
 - система динамического позиционирования и якорной системы удержания распределительного типа с применением тросов/цепей/комбинированных связей);
 - якорная система удержания (на натяжных связях; гибкие якорные линии с применением тросов/цепей/комбинированных связей).

Иерархия критериев для сравнения различных типов буровых установок для глубины моря от 120 м представлена на рис. 2.

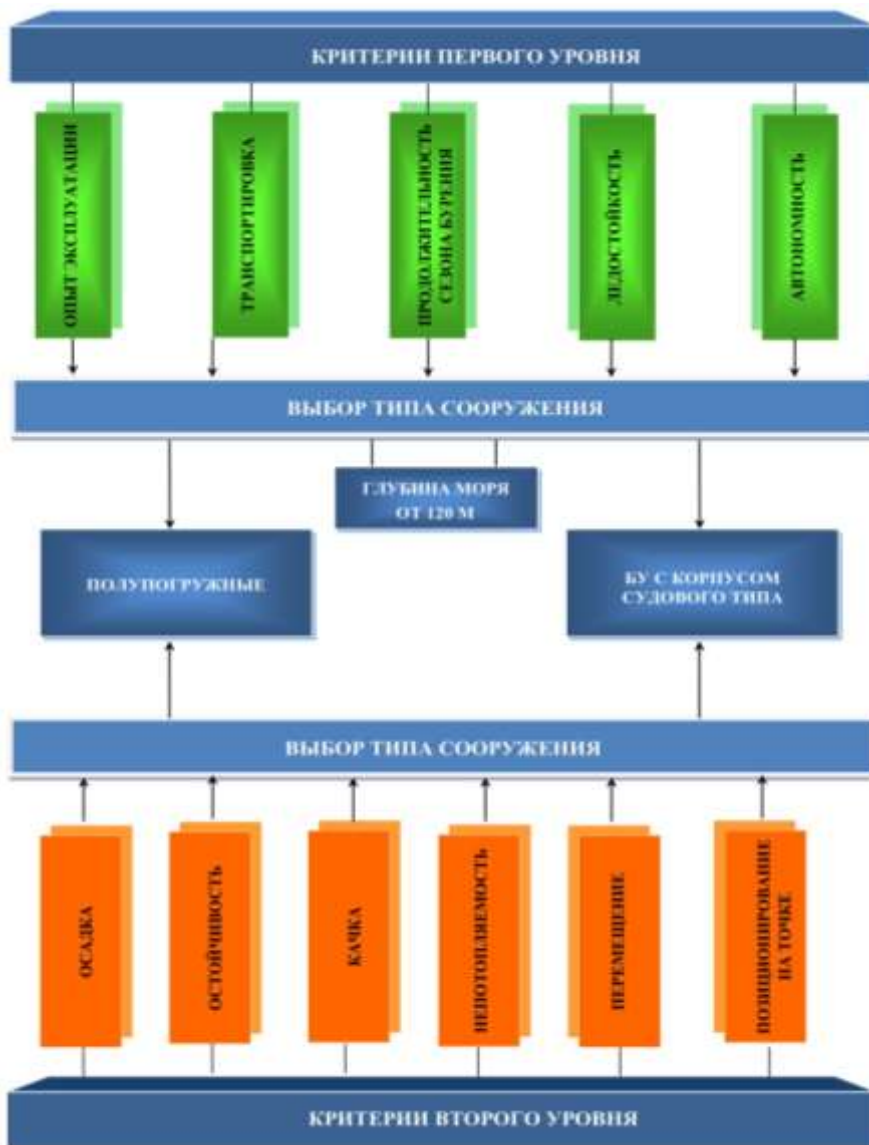


Рис. 2. Иерархия критериев для сравнения различных типов буровых установок для глубины моря от 120 м

Вычисление вектора приоритетов для матрицы попарных сравнений

Выполняется формирование набора локальных приоритетов из группы матриц попарных сравнений. Для этого выполняется вычисление множества собственных векторов для каждой матрицы. После нормализации результата к единице получаем вектор приоритетов согласно методике, описанной [10, 23].

В таблицах 4–5 представлены численные оценки предпочтений критериев для погружных платформ на глубине и 60–120 м (ППБУ– полупогружные буровые установки и СПБУ – самоподъемные), для плавучих буровых установок (БУ) на глубине 120 м.

Таблица 4

Численные оценки предпочтений критериев

		Критерии											
Тип сооружения	1-го уровня					2-го уровня							
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
МЕСТО (Глубина моря 60–120 м ППБУ и СПБУ (погружные))													
ППБУ													
СПБУ													

Таблица 5

Численные оценки предпочтений критериев

		Критерии									
Тип сооружения	1-го уровня					2-го уровня					
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
МЕСТО (Глубина моря от 120 м ППБУ (плавучие) и БУ)											
ППБУ											
БУ с судовыми обводами											

Результаты расчетов для ППБУ, устанавливаемых как опирающиеся на грунт на глубинах 60–120 м, приведены в таблицах 6–7. Построение матриц попарных сравнений проводилось для того, чтобы установить приоритеты критериев исследования и выявить самый важных из них. Затем вычисляется вектор локальных приоритетов для матриц попарных сравнений; при этом выполняется нормирование полученных результатов, результаты расчета которых представлены в таблицах 8–9. По результатам расчетов определена погрешность вычисления компонент вектора локальных приоритетов для матриц попарных сравнений. В соответствии с предпочтениями по убыванию весов полученные значения позволяют ранжировать критерии. Аналогично был выполнен расчет для СПБУ для таких же условий.

Таблица 6

Матрица попарных сравнений критериев 1-го уровня

Тип сооружения		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Критерии 1-го уровня						
Опыт эксплуатации	A ₁	1,0	5,0	1,0	4,0	3,0
Транспортировка	A ₂	0,2	1,0	2,0	3,0	5,0
Продолжительность сезона бурения	A ₃	1,0	0,5	1,0	3,0	1,0
Ледостойкость	A ₄	0,3	0,3	0,3	1,0	1,0
Автономность	A ₅	0,3	0,2	1,0	1,0	1,0

Таблица 7

Матрица попарных сравнений критериев 2-го уровня
 (ПБУ и СПБУ, устанавливаемых как опирающиеся на грунт)

Тип сооружения		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
Критерии 2-го уровня									
Обеспечение осадки при транспортировке	C ₁	1,0	1,0	3,0	2,0	3,0	6,0	7,0	1,0
Обеспечение устойчивости	C ₂	1,0	1,0	2,0	1,0	7,0	5,0	9,0	1,0
Масса	C ₃	0,3	0,5	1,0	3,0	7,0	1,0	5,0	1,0
Габариты	C ₄	0,5	1,0	0,3	1,0	5,0	1,0	7,0	1,0
Отрыв от грунта	C ₅	0,3	0,1	0,1	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0
Устойчивость	C ₆	0,2	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Постановка и снятие с точки	C ₇	0,1	0,1	0,2	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0
Мобильность	C ₈	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 8

Геометрическое среднее в каждой строке матрицы А

Критерии 1-го уровня	b _i	B	x _i
Опыт эксплуатации	b ₁	2,27	0,39
Транспортировка	b ₂	1,43	0,24
Продолжительность сезона бурения	b ₃	1,08	0,19
Ледостойкость	b ₄	0,49	0,08
Автономность	b ₅	0,58	0,10

Таблица 9

Геометрическое среднее в каждой строке матрицы С

Критерии 2-го уровня		b_i	В	x_i
Обеспечение осадки при транспортировке	b_1	2,29	9,68	0,24
Обеспечение остойчивости	b_2	2,24		0,23
Масса	b_3	1,43		0,15
Габариты	b_4	1,25		0,12
Отрыв от грунта	b_5	0,44		0,05
Устойчивость	b_6	0,65		0,07
Постановка и снятие с точки	b_7	0,38		0,04
Мобильность	b_8	1,00		0,10

В таблице 10 представлены численные оценки предпочтений критериев для погружных платформ на глубине и 60–120 м (ППБУ– полупогружные буровые установки и СПБУ – самоподъемные) как анализ результатов вычисления вектора приоритетов для матрицы попарных сравнений первого и второго уровня.

Таблица 10

Численные оценки предпочтений критериев

Тип сооружения	Критерии												
	1-го уровня					2-го уровня							
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
МЕСТО (Глубина моря 60–120 м ППБУ и СПБУ (погружные))													
ППБУ	1	2	3	5	4	1	2	3	4	7	6	8	5
СПБУ	1	3	2	5	4	2	5	6	7	3	1	4	8

Значение критерия, получившего самую низкую оценку, в случае если вес является пренебрежимо малым, следует исключить из рассмотрения и выполнить следующее приближение.

В результате проведенных исследований необходимо проверить согласованность локальных приоритетов. Для проверки согласованности локальных приоритетов определялся индекс согласованности матрицы А и матрицы С (1), а затем определялось отношение согласованности (таблицы 11, 12). Если значение отношения согласованности будет превышать 10 %, то экспертам нужно исследовать задачу и пересмотреть суждения [9, 24].

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (1)$$

где λ_{\max} – наибольшее собственное значение обратносимметричной матрицы (2);
ИС – индекс согласованности матрицы;

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \quad (2)$$

где x_i – значение компонент вектора локальных приоритетов;

$y_i = \sum_{k=1}^n a_{ik}$, $k = 1, 2, \dots, n$ – сумма элементов в каждом столбце матрицы;

Отношение согласованности определяется по формуле (3):

$$OC = \frac{ИС}{СС} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где $СС$ – случайная согласованность.

Таблица 11

Вычисление собственных характеристик обратносимметричной матрицы А

Критерии 1-го уровня	x_i	y_i	λ_{\max}	ИС	ОС, %
Опыт эксплуатации	0,39	2,8	5,84	0,21	18,75
Транспортировка	0,24	7,0			
Продолжительность сезона бурения	0,19	5,3			
Ледостойкость	0,08	12,0			
Автономность	0,10	11,0			

Таблица 12

Вычисление собственных характеристик обратносимметричной матрицы С

Критерии 2-го уровня	x_i	y_i	λ_{\max}	ИС	ОС, %
Обеспечение осадки при транспортировке	0,24	4,1	8,79	0,11	7,80
Обеспечение остойчивости	0,23	4,9			
Масса	0,15	6,6			
Габариты	0,12	9,3			
Отрыв от грунта	0,05	26,0			
Устойчивость	0,07	17,0			
Постановка и снятие с точки	0,04	32,0			
Мобильность	0,10	8,0			

Результаты проведенного анализа необходимо представить эксперту для возможного пересмотра качественных оценок предпочтений матрицы А, так как ОС превышает 10 %, т.е. решение является неудовлетворительным. Только после пересмотра приоритетов матрицы А и выполнения последующих приближений определяется согласованность всей иерархии и выполняется оценка вкладов критериев в значении функции полезности.

Заключение

Результаты проведенного анализа показали значимость каждого из критериев в зависимости от типа сооружения, глубины моря и внешних нагрузок окружающей среды в месте установки сооружения.

Применение метода экспертных оценок и метода анализа иерархий позволяют выполнить первичную оценку возможности реализации проектируемого сооружения в рассматриваемых условиях. Однако для получения более точного результата необходимо выполнение множества приближений, что усложняет процесс вычислений. Множество приближений обосновывается необходимостью уточнения каждого критерия с учетом конструктивного типа сооружения и условий эксплуатации. Для выбора критериев, позволяющих оценить и сравнить типы рассматриваемых сооружений для суровых климатических условий исходя из мировой практики, наличия опыта отечественного проектирования и строительства буровых платформ для добычи нефти и газа, буровые сооружения были выделены в две основные группы по способу их установки над скважиной во время бурения. Кроме того, их классификация производилась по конструктивному типу.

В случае отсутствия мирового аналога или полного объема исходных данных на стадии концептуального проектирования применяемая система оценки позволяет только повысить вероятность принятия правильного решения. Далее обязательно необходима детальная проработка принятых конструктивных решений.

Список литературы:

1. НД № 2-020101-124 Правила классификации и постройки морских судов. Часть II. Корпус; введ. 01.01.2020 – // Российский морской регистр судоходства. – СПб.: Российский морской регистр судоходства. 2020. – 296с.
2. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2018. – 460 с.
3. Халикова, Дина Флюоровна Методика выбора архитектурно-конструктивного типа и общепроектных характеристик плавучей буровой установки для бурения поисково-разведочных скважин в условиях мелководья: диссертация кандидата технических наук: 05.08.03 / Халикова Дина Флюоровна; [Место защиты: Федеральное государственное унитарное предприятие «Крыловский государственный научный центр»]. – Санкт-Петербург, 2014. – 238 с. : 85 ил.
4. Recommended practice – DNVGL-RP-B401. – DNV GL AS, June 2017. – 64 p.
5. NACE Standard SP0387-2006 (formerly RP0387-99) Item No. 21036. – NACE International, 2006. – 9 p.
6. Экономическая эффективность технических решений: учебное пособие / С.Г. Баранчикова [и др.]; под общ. ред. проф. И. В. Ершовой. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 140 с.
7. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 6 апреля 2017 г. N 688/пр "О порядке ведения национального реестра специалистов в области инженерных изысканий и архитектурно-строительного проектирования, национального реестра специалистов в области строительства, включения в такие реестры сведений о физических лицах и исключения таких сведений, внесения изменений в сведения о физических лицах, включенные в такие реестры, а также о перечне направлений подготовки, специальностей в области строительства, получение высшего образования по которым необходимо для специалистов по организации инженерных изысканий, специалистов по организации архитектурно-строительного проектирования, специалистов по организации строительства"
8. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер.с англ./ Т. Саати, К. Кермс – М.: Радио и связь, 1991.
9. Орлов А.И. Теория принятия решений: Учебное пособие. – М: Изд. «Март», 2004. – 2004. – 656 с.
10. Технический отчет по теме «Систематизация и грация данных по природным условиям, разработка нормативных требований по параметрам природных воздействий на перспективные технические средства разведки, бурения и добычи углеводородов, применяемых в особо сложных условиях глубоководного арктического шельфа» / ФГБУ «ААНИИ». – СПб., 2012 г.
11. Кузнецов М.А., Севастьянова К.К., Нехаев С.А., Беляев П.В., Тарасов П.А. / ООО «РН-СахалинНИПИморнефть» Проблемы обустройства морских месторождений российской Арктики, <https://rogtectmagazine.com>.
12. Ахмедсафин С.К., Мирзоев Д.А., Шилов Г.Я., Ибрагимов И.Э. Системный подход при создании единого производственно-технического комплекса освоения ресурсов углеводородного сырья акваториальной группы месторождений Обской и Тазовской губ и сопредельной суши:

- Сб. докладов 4-й международной конференции ROOGD-2012 (10-11 октября 2012 г.) – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2013. – С. 177–178
13. Modelling and analysis of marine operations / Det Norske Veritas 2011/ – 17 p.
14. Arctic offshore technology assessment of exploration and production options for cold regions of the US outer continental shelf. Krylov shipbuilding research institute, St. Petersburg, 2008.
15. Joachim Berger – IMPac Offshore Engineering, Hamburg. Ise protection structures. «Schiff und Hafен», June 2008, №6.
16. Parshall J. Evolving Subsea Technology Tackles Huge New Riscks of Today,s Projects. Journal of Petroleum Technology. May 2008. – P.40–47
17. Ross D. Murphy (Parker Drilling Co International). Parker builds world’s first arctic-class drill barge. «Drilling contractor», January/February 2000.
18. Paul Verlaan , Ken Croasdale. ICE ISSUES RELATING TO THE KASHAGAN PHASE II DEVELOPMENT, NORTH CASPIAN SEA. POAC 01, August 2001, Ottawa, Canada.
19. Справочные данные по режиму ветра и волнения шельфа Баренцева и Карского морей / РС. – СПб., 2013 г.
20. Караев И.П., Мирзоев Ф.Д., Архипова О.Л. Методика разработки концептуальных схем обустройства нефтегазовых месторождений арктического шельфа/ SOCAR PROCEEDINGS № 3. Баку 2015 – 58-65.
21. InnoRig 21C-The super safe jack-up of the future // Offshore Technology International [http://www.offshore-publication.com], 2012.
22. 6 October 2016 – Deutsche Oel & Gas – Drilling of natural gas well KLU A-2 off to a successful start. Опубликовано на web – ресурсе <http://www.deutsche-oel-gas.com>.
23. Шишкин Е.В. Математические методы и модели в управлении: Учеб. Пособие/ Е.В. Шишкин, А.Г. Чхартишвили – М.: Дело, 2000. – 440 с.
24. 30 September 2015 – Deutsche Oel & Gas – Completion of infrastructure – Summary of work in the Kitchen Lights Unit in 2015. Опубликовано на web – ресурсе <http://www.deutsche-oel-gas.com>.

CRITERIA SYSTEM FOR COMPARISON AND EVALUATION OF VARIOUS DRILLING RIGS TYPES APPLICABILITY UNDER SEVERE CLIMATIC CONDITIONS

Olga A. Ivanova^{1,2}

¹“Corall” JSC, Sevastopol, Russia

²Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Irina L. Blagovidova^{1,2}

¹“Corall” JSC, Sevastopol, Russia

²Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Anna V. Rodkina

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Abstract. The article provides an analysis of existing multicriteria assessment methods. The hierarchy analysis method developed by T. Saati and the expert assessment method is proposed to structure the complex task of comparing and assessing the applicability of various drilling rigs types to extend the drilling season in severe climatic conditions under the influence of ice loads. The priority of the criteria for the hierarchy analysis method is based on an expert survey. The application of the expert assessment method allows taking into account the existing experience in the design and operation of offshore drilling facilities. Weights were determined based on the results of an expert survey using a simple mathematical apparatus. The program was developed in MS Excel to obtain a numerical assessment of criteria preferences. The results of the study can be used by design organizations at an early stage of design, i.e. for the conceptual stage of project development, with a significant lack of climatic and geological information about the construction site. The obtained results allow us to determine the most objective and effective form of choosing an acceptable option for the offshore structures construction, taking into account the possible minimization of its cost, ensuring safety and reliability for the entire operational period.

Keywords: analysis, criteria, numerical estimation, drilling platform, water depth range, off-shore structures, levels of a hierarchy, array

References:

1. ND № 2-020101-124 Правила классификации и постройки морских судов. Част' II. Корпус; введ. 01.01.2020 – // Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva. – SPb.: Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva. 2020. – 296s.
2. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. – SPb.: Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva, 2018. – 460 s.
3. Khalikova, Dina Flyurovna Metodika vybora arkhitekturno-konstruktivnogo tipa i obshcheproyektnykh kharakteristik plavuchey burovoy ustanovki dlya bureniya poiskovo-razvedochnykh skvazhin v usloviyakh melkovod'ya: dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.08.03 / Khalikova Dina Flyurovna; [Mesto zashchity: FEDERAL'NOYE GOSUDARSTVENNOYE UNITAR'NOYE PREDPRIYATIYE «KRYLOVSKIY GOSUDARSTVENNYY NAUCHNYY TSENTR»]. – Sankt-Peterburg, 2014. – 238 s. : 85 il.
4. Recommended practice – DNVGL-RP-B401. – DNV GL AS, June 2017. – 64 p.
5. NACE Standard SP0387-2006 (formerly RP0387-99) Item No. 21036. – NACE International, 2006. – 9 p.
6. Ekonomicheskaya effektivnost' tekhnicheskikh resheniy: uchebnoye posobiye / S.G. Baranchikova [i dr.]; pod obshch. red. prof. I. V. Yershovoy. – Yekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2016. – 140 s.
7. Prikaz Ministerstva stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva RF ot 6 aprelya 2017 g. N 688/pr "O poryadke vedeniya natsional'nogo reyestra spetsialistov v oblasti inzhenernykh izyskaniy i arkhitekturno-stroitel'nogo proyektirovaniya, natsional'nogo reyestra spetsialistov v oblasti stroitel'stva, vklucheniya v takiye reyestry svedeniy o fizicheskikh litsakh i isklucheniya takikh svedeniy, vneseniya izmeneniy v svedeniya o fizicheskikh litsakh, vkluchennyye v takiye reyestry, a takzhe o perechne napravleniy podgotovki, spetsial'nostey v oblasti stroitel'stva, polucheniye vysshego obrazovaniya po kotorym neobkhodimo dlya spetsialistov po organizatsii inzhenernykh izyskaniy, spetsialistov po organizatsii arkhitekturno-stroitel'nogo proyektirovaniya, spetsialistov po organizatsii stroitel'stva"
8. Saati T. Analiticheskoye planirovaniye. Organizatsiya sistem: Per.s avngl./ T. Saati, K. Kerms – M.: Radio i svyaz', 1991.
9. Orlov A.I. Teoriya prinyatiya resheniy: Uchebnoye posobiye. – M.: Izd. «Mart», 2004. – 2004. – 656 s.
10. Tekhnicheskyy otchet po teme «Sistematizatsiya i gradatsiya dannykh po prirodnykh usloviyam, razrabotka normativnykh trebovaniy po parametram prirodnykh vozdeystviy na perspektivnyye tekhnicheskkiye sredstva razvedki, bureniya i dobychi uglevodorodov, primenyayemykh v osobo slozhnykh usloviyakh glubokovodnogo arkticheskogo shel'fa» / FGBU «AANII». – SPb., 2012 g.
11. Kuznetsov M.A., Sevast'yanova K.K., Nekhayev S.A., Belyayev P.V., Tarasov P.A. / OOO «RN-SakhalinNIPImorneft'» Problemy obustroystva morskikh mestorozhdeniy rossiyskoy Arktiki, <https://rogtcmagazine.com>.
12. Akhmedsafin S.K., Mirzoyev D.A., Shilov G.YA., Ibragimov I.E. Sistemnyy podkhod pri sozdanii yedinogo proizvodstvenno-tekhnicheskogo kompleksa osvoyeniya resursov uglevodorodnogo syr'ya akvatorial'noy gruppy mestorozhdeniy Obskoy i Tazovskoy gub i sopredel'noy sushi: Sb. dokladov 4-y mezhdunarodnoy konferentsii ROOGD-2012 (10-11 oktyabrya 2012 g.) – M.: Gazprom VNIIGAZ, 2013. – S. 177–178
13. Modelling and analysis of marine operations / Det Norske Veritas 2011/ – 17 p.
14. Arctic offshore technology assessment of exploration and production options for cold regions of the US outer continental shelf. Krylov shipbuilding research institute, St. Petersburg, 2008.
15. Joachim Berger – IMPac Offshore Engineering, Hamburg. Ise protection structures. «Schiff und Hafen», June 2008, №6.
16. Parshall J. Evolving Subsea Technology Tackles Huge New Risks of Today's Projects. Journal of Petroleum Technology. May 2008. – P.40–47
17. Ross D. Murphy (Parker Drilling Co International). Parker builds world's first arctic-class drill barge. «Drilling contractor», January/February 2000.
18. Paul Verlaan , Ken Croasdale. ICE ISSUES RELATING TO THE KASHAGAN PHASE II DEVELOPMENT, NORTH CASPIAN SEA. POAC 01, August 2001, Ottawa, Canada.

19. Spravochnyye dannyye po rezhimu vetra i volneniya shel'fa Barentseva i Karskogo morey / RS. – SPb., 2013 g.
20. Karayev I.P., Mirzoyev F.D., Arkhipova O.L. Metodika razrabotki kontseptual'nykh skhem obustroystva neftegazovykh mestorozhdeniy arkticheskogo shel'fa/ SOCAR PROCEEDINGS № 3. Baku 2015 – 58-65.
21. InnoRig 21C-The super safe jack-up of the future // Offshore Technology International [http://www.offshore-publication.com], 2012.
22. 6 October 2016 – Deutsche Oel & Gas – Drilling of natural gas well KLU A-2 off to a successful start. Опубликовано на web – ресурсе http://www.deutsche-oel-gas.com.
23. Shishkin Ye.V. Matematicheskiye metody i modeli v upravlenii: Ucheb. Posobiye/ Ye.V. Shikin, A.G. Chkhartishvili – М.: Delo, 2000. – 440 s.
24. 30 September 2015 – Deutsche Oel & Gas – Completion of infrastructure – Summary of work in the Kitchen Lights Unit in 2015. Опубликовано на web – ресурсе http://www.deutsche-oel-gas.com.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Иванова Ольга Александровна, канд. техн. наук, инженер-конструктор 1-й категории АО «ЦКБ «Коралл», 299028, г. Севастополь, ул. Репина, 1, доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: o.a.ivanova.kmt@mail.ru

Olga A. Ivanova, Ph.D. in Engineering Science, Design Engineer of the 1st Category of General Engineering and Naval Architecture Department 11, General Engineering Office 111 “Corall” JSC Central Design Bureau, 1, Repina st., Sevastopol; 299028, Associate Professor of the Department of Ocean Technology and Shipbuilding Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

Благовидова Ирина Львовна, заместитель начальника отдела АО «ЦКБ «Коралл», 299028, г. Севастополь, ул. Репина, 1; доцент кафедры «Океанотехника и кораблестроение» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: blagovidova@yandex.ru

Irina L. Blagovidova, Deputy Head of General Engineering and Naval Architecture Department 11, General Engineering Office 112 “Corall” JSC Central Design Bureau, 1, Repina st., Sevastopol; 299028, Associate Professor of the Department of Ocean Technology and Shipbuilding Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

Родкина Анна Владимировна, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Океанотехника и кораблестроение» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, e-mail: a.v.rodkina@gmail.com

Anna V., Rodkina, Ph.D. in Engineering Science, Senior Lecturer of the Department of Ocean Technology and Shipbuilding Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st., Sevastopol, 299053

Статья поступила в редакцию 08.06.2020 г.

УДК 629.12.002.8

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.127>

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ СУДНА

Ю.А. Кочнев

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

И.Б. Кочнева

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Решение об утилизации судна, как правило, принимается только исходя из экономических соображений – возможности реализации материалов и оборудования для повторного использования. При этом не оценивается фактический ущерб окружающей среде, как от факта самой утилизации (выбросы при разделке и складировании отходов, подлежащих дальнейшему использованию и переработке), так и от хранения судна на некоторой территории, являющейся либо береговой линией, либо участком затона, и которая в большинстве случаев для этого не предназначена. В статье рассмотрен подход, позволяющий качественно оценить экологический эффект от разделки судна по сравнению с его хранением в условно неограниченном интервале времени. Получен однозначный вывод об эффективности такого вида обращения с судном как с отходом. Предложен метод определения некоторого условного времени на принятие решения о способе и месте утилизации, применимый к судну, находящемуся в негодном техническом состоянии.

Ключевые слова: утилизация судна, экологический ущерб

Введение

По завершении стадии эксплуатации судно переходит к следующему этапу жизненного цикла – утилизации. Практика по обращению с судами, выведенными из эксплуатации такова, что судно до момента непосредственной утилизации на предприятии путем его разделки длительное время может находиться в акватории на отстое.

После вывода из эксплуатации в акватории для отстоя необходимо проводить работы по поддержанию судна на плаву, а также поддерживать целостность окрасочного слоя для исключения ущерба окружающей среде. Но по различным причинам суда теряют свою плавучесть, переходят в затопленное, полузатопленное, обсушенное состояние и часто становятся «брошенными». Такие суда наносят ущерб окружающей среде, захламляют прибрежную зону, создают угрозу безопасности судоходства [1].

Математическая модель сопоставления ущербов

Ущерб от хранения судна как суммарный ущерб за каждый год хранения можно представить следующим образом [2-4]:

$$Y_{xp}^{\infty} = H_0 B_0 \sum_{t=1}^{\infty} \zeta_t (1 + e_t) \times \xi^t \times k(t) \quad (1)$$

где H_0 – базовая ставка платы, руб;

B_0 – начальный тоннаж судна, т;

ζ_t – коэффициент, учитывающий изменение общих подходов к оценке ущерба (изменение методик, наличие льгот для владельца, изменение уровня опасности отхода и т.п.);

e_t – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;

ξ^t – доля снижения тоннажа за t лет;

$k(t)$ – коэффициент экологической ситуации.

При утилизации ущерб окружающей среде будет возникать при образовании выбросов, сбросов и не утилизируемых отходов в процессе разделки судна на предприятии по утилизации. Для них характерны технологические схемы разделки с использованием ручной резки, с высоким выбросом вредных веществ, низким уровнем организации труда, привлечением малоквалифицированного персонала, что приводит к значительному загрязнению окружающей среды [5–9].

Ущерб от утилизации, по мнению авторов, в общем виде можно определить как:

$$Y_{ym} = M + Y_{XP_{отх}}^{\infty} \quad (2)$$

где M – фактический ущерб окружающей среде от технологических процессов утилизации, определяемый для предприятия по утилизации, исходя из применяемых на нём методов разделки судна, потоков загрязняющих веществ и т.д.:

$$M = \eta B_0 m \quad (3)$$

где η – экономический (денежный) коэффициент пропорциональности;

m – доля веществ, образующих выбросы;

$Y_{XP_{отх}}^{\infty}$ – ущерб от хранения не утилизируемых отходов с судна в условно неограниченный временной период, который можно представить как долю σ подобного ущерба от всего судна.

Целесообразно оценить ущерб окружающей среде судном, находящимся как на хранении, так и на разделке на предприятии по утилизации. Более того, автор считает необходимым соотнести эти ущербы с целью осуществления экологически эффективной утилизации.

Предлагаем считать экологически эффективной утилизацию в том случае, когда величина ущерба при утилизации судна на предприятии не будет превышать аналогичную величину при его хранении в условно неограниченный период времени:

$$Y_{xp}^{\infty} > Y_{ym}, \quad (4)$$

где Y_{xp}^{∞} – ущерб от хранения судна, как отхода без его утилизации в условно неограниченный временной период;

Y_{ym} – ущерб от утилизации.

Окончательно эффективность утилизации может быть представлена неравенством

$$\eta < H_0 \frac{(1-\sigma)}{m} \sum_{t=1}^{\infty} \zeta_t (1+e_t) \times \xi^t \times k(t), \quad (5)$$

которое будет выполняться в зависимости от значения функции в правой части, то есть в большей степени пределом суммы бесконечного ряда, отражающего внутренние и внешние параметры системы судно - окружающая среда - регулятор:

$$\lambda = \lim \sum_{t=1}^{\infty} \zeta_t (1 + e_t) \times \xi^t \times k(t) \quad (6)$$

Предположим, что внешние параметры рассматриваемой системы остаются либо постоянными, либо изменяются в пределах её чувствительности, тогда:

– коэффициент экологической значимости остается постоянным на протяжении всего рассматриваемого периода времени, а экологическое состояние региона не меняется

$$k(t) = \text{const} = k_T, \quad (7)$$

– подходы к оценке ущерба останутся неизменными

$$\zeta_t = \text{const} = \zeta_T, \quad (8)$$

– инфляция увеличивает коэффициент индексации выплат за ущерб окружающей среде на одинаковую величину ежегодно [10]:

$$e_t = \text{const} \Rightarrow (1 + e_t) = E. \quad (9)$$

В этом случае зависимость (5) можно представить в упрощённом виде:

$$\eta < H_0 \frac{(1 - \sigma)}{m} k_T \zeta_T \sum_{t=1}^{\infty} E^t \times \xi^t \quad (10)$$

или

$$\eta < A \lambda_T, \quad (11)$$

где $A = H_0 \frac{(1 - \sigma)}{m} k_T \zeta_T$ – параметр условно не зависящий от периода хранения;

$$\lambda_T = \sum_{t=1}^{\infty} E^t \cdot \xi^t \quad \text{– надбавка на период хранения.}$$

Сумма будет иметь конечное значение, если получившийся ряд является сходящимся. Достаточный признак сходимости [11-12] – n-ый член ряда при $n \rightarrow \infty$ равен нулю. Т.е. в нашем случае $a_t = E^t \cdot \xi^t = 0|_{t \rightarrow \infty}$. В соответствии с [11-12] получим:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} a_t = \lim_{t \rightarrow \infty} E^t \cdot \xi^t = \lim_{t \rightarrow \infty} E^t \cdot \lim_{t \rightarrow \infty} \xi^t \quad (12)$$

Так как инфляция будет присутствовать в любом случае, а доля снижения тоннажа будет лежать в диапазоне до 1 ($E > 1$ и $0 < \xi < 1$), то можно записать:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} E^t = +\infty, \quad (13)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \xi^t = +0, \quad (14)$$

тогда $\lim_{t \rightarrow \infty} a_t = \infty \cdot 0 = \infty$, а ряд λ_T является расходящимся.

Если рассматривать общий случай, когда коэффициенты экологической значимости региона, индексации, подходы к оценке ущерба не постоянны, то инфляция в любом случае будет присутствовать, т.е. $(1 + e_t)$ всегда будет больше 1. Следовательно, независимо от представления ζ_t , $k(t)$, ряд (6) будет расходящимся и не иметь конечного значения. Таким образом, в бесконечной перспективе времени утилизация будет экологически целесообразна.

Однако на наш взгляд дополнительно можно выделить некоторое время t' - соответствующее времени допустимого хранения. Для этого рассмотрим выбросы вредных веществ в окружающую среду на этапах хранения и утилизации.

$$Q_{xp} = B_0 \sum_{t=0}^{\infty} \xi^t, \quad (15)$$

$$Q_{ym} = B_0 m. \quad (16)$$

Суммарный выброс от обоих этапов в конечном времени хранения t'' не должен превышать предельно допустимого выброса.

$$Q = B_0 \sum_{t=1}^{t''} \xi^t + m < Q', \quad (17)$$

где Q' – объём предельно допустимых выбросов всех вредных веществ в окружающую среду.

Рассмотрев конечное время хранения в условии (5) можно отказаться от суммы бесконечного ряда и перейти к ее частному (конечному) значению.

Решая систему двух неравенств

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta < H_0 \frac{(1-\sigma)}{m} \sum_{t=1}^{t''} \zeta_t (1+e_t) \times \xi^t \times k(t) \\ B_0 \sum_{t=1}^{t''} \xi^t + m < Q' \end{array} \right., \quad (18)$$

можно найти интересующее время допустимого хранения t' .

Система не будет иметь общего решения в двух случаях:

1) при применении технологий утилизации с высоким уровнем выбросов. Такой подход определенно не целесообразен, несмотря на полученный выше вывод об эффективности процесса утилизации. По сути это означает, что необходимо пересматривать применяемые технологии утилизации, дающие меньшие выбросы, а затем решать систему неравенств заново.

2) При хранении судна изначально в «сверх»-некачественном состоянии (при несоблюдении требований [13-15] к выводу судна из эксплуатации).

Во всех остальных случаях получаемое время t' можно интерпретировать как некоторое время на принятие решения об утилизации: выбор завода, доработка очистных сооружений (при необходимости), подготовка полигона по утилизации судов.

Однако это возможно при раскрытии уравнений (18) на конкретное судно. В то же время, собственник отхода (судна) может их использовать для выбора более предпочтительного предприятия по утилизации или места хранения, т.е. для решения частной оптимизационной задачи.

Список литературы:

1. Технологические аспекты очистки внутренних водных путей от крупногабаритных отходов судоходства / Наумов В.С., Бурнистров Е.Г., Кочнева И.Б. // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции». – Омск: ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ», 2019.– с. 165-168.
2. Формирование условия целесообразности утилизации судна/Кочнева И.Б.//Научные проблемы водного транспорта. - 2020 - №63, с. 62-67.
3. Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства [Электронный ресурс] : Приказ Минприроды России от 13.04.2009 N 87. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Resolution A.962(23) IMO Guidelines on Ship Recycling – Режим доступа: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Ship-Recycling.aspx>.
5. Regulation (EU) No 1257/2013 of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on ship recycling and amending Regulation (EC) No 1013/2006 and Directive 2009/16/EC. – Режим доступа: http://www.safety4sea.com/images/media/pdf/EU_Ship-Recycling-Regulation.pdf.
6. Technical guidance note under Regulation (EU) No 1257/2013 on ship recycling. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52016XC0412%2801%29> (дата обращения – 02.07.2019).
7. Basel Convention, Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of the Full and Partial Dismantling of Ships (hereafter referred to as 'BC TG'), Section 4.5, pp. 63-64 and Section 6.2, pp. 84-88.
8. ILO, Safety and health in shipbreaking, guidelines for Asian countries and Turkey, 2004 (hereafter referred to as 'ILO SHG'), Section 4.6, p. 32 and Section 16, pp. 128-133.
9. Resolution MEPC.210(63)-2012. Guidelines for Safe and Environmentally Sound Ship Recycling. – Режим доступа: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210(63).pdf).
10. Газеев Н. Х. О методах корректировок ставок платежей за пользование природными ресурсами и загрязнение окружающей среды // Вестник казанского технологического университета. 2014. № 3. С. 248–251.
11. Schmidt, M. D. (2017). "Zeta series generating function transformations related to polylogarithm functions and the k-order harmonic numbers" (PDF). Online Journal of Analytic Combinatorics (12).
12. F. W. J. Olver, D. W. Lozier, R. F. Boisvert, and C. W. Clark, eds., NIST Handbook of Mathematical Functions, Cambridge University Press, 2010.
13. Технический регламент о безопасности объектов внутреннего водного транспорта [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 12.08.2010 N 623. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
14. ФАУ «Российский Речной Регистр». Правила классификации и постройки судов. Москва, 2019 г.
15. ФАУ «Российский морской регистр судоходства». Правила классификации и постройки морских судов. Санкт-Петербург, 2019 г.

JUSTIFICATION FOR THE EXPEDIENCY OF SHIP RECYCLING

Irina B. Kochneva

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Yuri A. Kochnev

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The decision of a ship recycling is usually made only on the basis of economic considerations – the possibility of selling materials and equipment for reuse. But the actual damage to the environment is not estimated, as from a disposition (emissions from cutting and storage of waste which is not a subject to further use and processing) and the ship storage on the certain territory which is either a coastline or a section of backwater, and which in most cases is not designed for this. The article considers the approach allowing to estimate the environmental effect of cutting up a ship, in comparison with its storage in a conditionally unlimited time interval. An unambiguous conclusion was obtained about the effectiveness of this type of treatment of the ship as waste. The method for determining a certain conditional time for making a decision on the method and place of recycling, applicable to a ship that is in an unsuitable technical condition is proposed.

Keywords: ship recycling, environmental damage

References:

1. Technologicheskie aspekty` ochistki` vnutrennix vodny`x putej` ot krupnogabaritny`x otkhodov sudohodstva / Naumov V.S., Burnistrov E.G., Kochneva I.B. // Sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-

- prakticheskoy konferencii «Sovremennyye nauchny'e issledovaniya: aktual'ny'e problemy' i tendencii». – Omsk: OIVT (filial) FGBOU VO «SGUVT», 2019.– s. 165-168.
2. Kochneva I.B. "Formirovaniye usloviya celesoobraznosti utilizacii sudna" (Formation of condition for the expediency of ship recycling) *Nauchny'e problemy' vodnogo transporta* – 63 (2020): 62-67.
 3. Ob utverzhdenii Metodiki ischisleniya razmera vreda, prichinnogo vodnym ob'ektam vsledstvie narusheniya vodnogo zakonodatel'stva. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 12.08.2010 N 623. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_88197/
 4. Resolution A.962(23) IMO Guidelines on Ship Recycling – Режим доступа: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Ship-Recycling.aspx>.
 5. Regulation (EU) No 1257/2013 of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on ship recycling and amending Regulation (EC) No 1013/2006 and Directive 2009/16/EC. – Режим доступа: http://www.safety4sea.com/images/media/pdf/EU_Ship-Recycling-Regulation.pdf.
 6. Technical guidance note under Regulation (EU) No 1257/2013 on ship recycling. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52016XC0412%2801%29> (дата обращения – 02.07.2019).
 7. Basel Convention, Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of the Full and Partial Dismantling of Ships (hereafter referred to as 'BC TG'), Section 4.5, pp. 63-64 and Section 6.2, pp. 84-88.
 8. ILO, Safety and health in shipbreaking, guidelines for Asian countries and Turkey, 2004 (hereafter referred to as 'ILO SHG'), Section 4.6, p. 32 and Section 16, pp. 128-133.
 9. Resolution MEPC.210(63)-2012. Guidelines for Safe and Environmentally Sound Ship Recycling. – Режим доступа: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/ShipRecycling/Documents/210(63).pdf).
 10. Gazeev N. X. "O metodax korrektyrovok stavok platyezhej za pol'zovanie prirodny' mi resursami i zagryaznenie okruzhayushhej sredy" *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* – 3 (2014): 248-251.
 11. Schmidt, M. D. (2017). "Zeta series generating function transformations related to polylogarithm functions and the k-order harmonic numbers" (PDF). *Online Journal of Analytic Combinatorics* (12).
 12. F. W. J. Olver, D. W. Lozier, R. F. Boisvert, and C. W. Clark, eds., *NIST Handbook of Mathematical Functions*, Cambridge University Press, 2010.
 13. Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti obektov vnutrennego vodnogo transporta. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 12.08.2010 N 623. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103987/508f7e09909c5340bc754fa03313ad7c93a4194f/ (Accessed on: 17.10.2020).
 14. FAI «Russian River Register». Rules for the Classification and Construction. Moscow, 2019.
 15. FAI « Russian Maritime Register of Shipping». Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Saint-Petersburg, 2019.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кочнев Юрий Александрович, к.т.н., доцент, доцент кафедры проектирования и технологии постройки судов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: ptps@vgavt-nn.ru

Yuri A. Kochnev, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Ship Design and Construction Technology, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950

Кочнева Ирина Борисовна, к.т.н., доцент, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: iringe@mail.ru

Irina B. Kochneva, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Environmental Protection and Industrial Safety, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterova street, Nizhny Novgorod, Russia, 603950

Статья поступила в редакцию 08.11.2020 г.

УДК 620.179.16

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.128>

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА В МЕТАЛЛАХ С ИХ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТЬЮ И ТВЕРДОСТЬЮ В УСЛОВИЯХ ПониЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

А.А. Хлыбов

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
г. Нижний Новгород, Россия*

Ю.Г. Кабалдин

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
г. Нижний Новгород, Россия*

М.С. Аносов

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
г. Нижний Новгород, Россия*

Д.А. Рябов

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
г. Нижний Новгород, Россия*

Ю.И. Матвеев

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В работе представлены результаты исследования связи скорости распространения продольных волн в металле с величинами ударной вязкости и твердости в широком диапазоне пониженных температур. Установлено, что с понижением температуры наблюдается повышение твердости, снижение ударной вязкости и увеличение скорости распространения продольной волны в исследуемых металлах, а скорость распространения продольной волны имеет тесную корреляцию с рассматриваемыми характеристиками. Рост скорости звука при понижении температуры, на наш взгляд, объясняется ростом теплопроводности у металлов. Таким образом, по значениям скорости распространения звука в металлах, можно прогнозировать уровень ее ударной вязкости, а также твердость при низких температурах, а, следовательно, склонность к хрупкому разрушению конструкций.

Ключевые слова: Скорость продольной волны, ударная вязкость, твердость, металлы, пониженные температуры

Введение

При выборе материалов, работающих в условиях Арктики и Крайнего Севера, возникает необходимость обеспечения оценки их физико-механических характеристик при различных температурах и их изменение в процессе эксплуатации. Однако оценка изменения механических характеристик металлов, особенно при низких температурах, является весьма трудоемкой, а в ряде случаев практически не реализуемой задачей. Это, в свою очередь, требует применения экспресс-методов оценки механических характеристик, в частности, неразрушающими методами контроля.

Одной из ключевых характеристик металла, работающего в условиях пониженных температур, является показатель ударной вязкости, характеризующий работу, затраченную на поглощение энергии удара и вероятность хрупкого разрушения [1-4]. Одним из перспективных методов оценки механических и эксплуатационных характеристик металлов является метод ультразвукового контроля. Метод ультразвукового контроля является одним из самых чувствительных методов анализа структуры ме-

талла и его характеристик в реальном масштабе времени в широком диапазоне температур [5-8]. В работах [4,5,8-10] показана связь скорости ультразвука и механических свойств металлов.

Однако возникает необходимость выявления корреляционных связей характеристик ультразвука, в частности, скорости его распространения, в металлах с физико-механическими характеристиками материала для широкого диапазона пониженных температур, в связи с отсутствием данных зависимостей в литературных источниках [4,5,8-10].

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выступали металлические материалы с различными типами кристаллического строения: ГЦК (12X18H10T и Д16) и ГПУ (BT8), которые, как показали исследования [1], обладают хорошей хладостойкостью и широко применяются при эксплуатации в условиях пониженных температур. Металлы с ОЦК решеткой не рассматриваются вследствие их низкой хладостойкости и ограниченности применения для условиях низкотемпературной эксплуатации [1, 3].

Химический состав материалов, выбранных для исследования и режимы их термической обработки показаны ниже:

12X18H10T (%): C – 0,11; Si – 0,7; Mn – 0,16; Ni – 10,2; S – 0,012; P – 0,008; Cr – 18,16; Ti – 0,6 (Закалка 1080 °C).

Д16 (%): Si – 0,27; Mn – 0,59; Ni – 0,08; Cr – 0,02; Cu – 4,15; Fe – 0,03; Ti – 0,02; Al – 92,6; Mg – 1,4 (Закалка 500°C, естественное старение).

BT8 (%): C – 0,02; Si – 0,32; Fe – 0,01; Ti – 89,35; Al – 6,6; Mo – 3,41; Zr – 0,18 (Двойной отжиг 920°C 2ч + 570°C 1ч).

Для оценки ударной вязкости материалов были проведены испытания на ударный изгиб образцов типа Шарпи с V-образным концентратором и рабочим сечением 8x10 мм. Изготовление образцов и их испытание проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 9454.

Твердость металлов измеряли с использованием твердомера ТШ-2М. В качестве индентора использовался шарик диаметром 2,5 мм., после чего по диаметру отпечатка определялась твердость металла по шкале НВ.

Для акустических измерений применяли измерительно-вычислительный акустический комплекс (ИВК) «Астрон» [7]. Прибор позволяет измерять время распространения упругих импульсов с точностью 10^{-9} с и способен работать с различными типами упругих волн. В работе был использован датчик продольных волн. Номинальная частота датчиков - 5 МГц. В качестве контактной жидкости применяли глицерин, уровень вязкости которого при пониженных температурах обеспечивает его работоспособность.

В работе использовали импульсное возбуждение и прием упругих импульсов. В качестве опорного импульса использовали первый отраженный импульс, относительно которого проводили измерение скорости путем сравнения его характеристик с характеристиками последующих импульсов. Это позволяет учитывать только эффекты, связанные с пройденным путем упругого импульса в контролируемой среде.

В результате анализа определялась скорость распространения ультразвуковой волны в металле на образцах, изготовленных для испытаний на ударный изгиб.

Образцы для испытаний охлаждались в специально разработанном устройстве на медной подложке, температура которой регулировалась за счет смеси жидкого азота и спирта, а при необходимости дополнительного нагрева с использованием резистора.

Для регистрации температуры на образце устанавливались датчики температуры контактного типа – рt100. Данные датчики позволяют измерять температуру в диапазоне от -196°C до +100°C с погрешностью $\pm 1^\circ\text{C}$.

Экспериментальные исследования. Анализ экспериментальных исследований.

На рис. 1 и 2 представлены зависимости твердости и скорости звука в широком диапазоне пониженных температур.

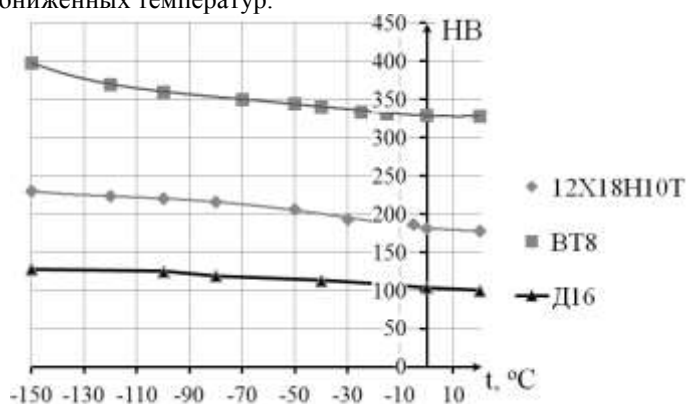
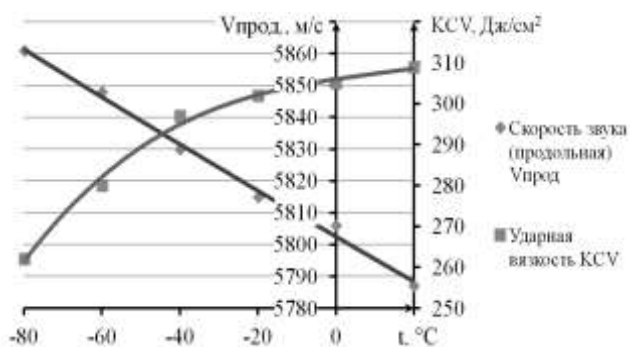
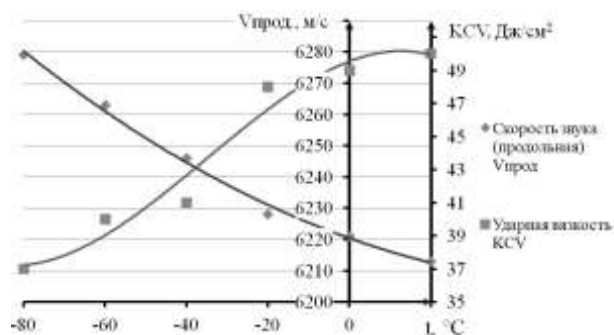


Рис.1. Зависимости твердости металлов от температуры

Как видно из рис. 1, с понижением температуры твердость металлов возрастает, но с разной интенсивностью. Наиболее интенсивное снижение твердости наблюдается для титанового сплава BT8, а наименьшее - для алюминиевого сплава Д16.



а)



б)

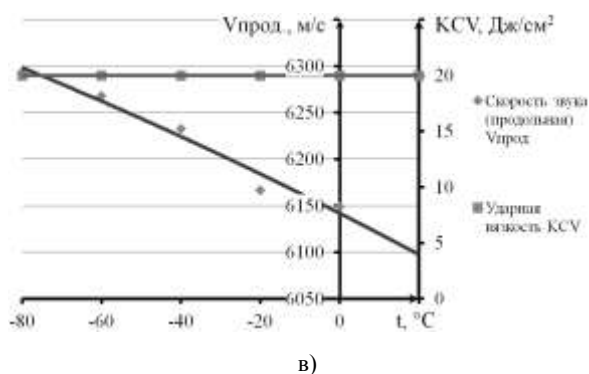
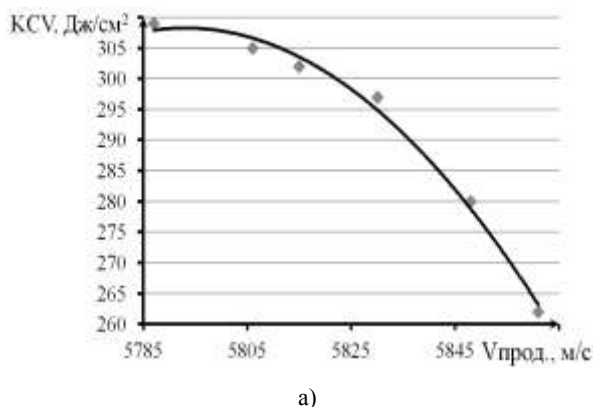


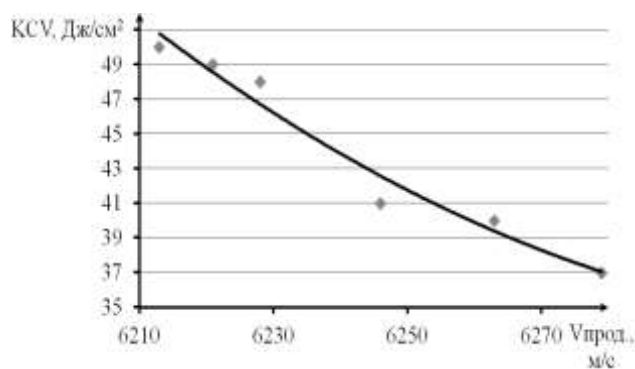
Рис.2. Зависимости скорости звука и величин ударной вязкости при различных температурах для материалов: а) сталь 12Х18Н10Т; б) сплав ВТ8; в) сплав Д16

Анализ рис. 1 и 2 показывает, что увеличение твердости металлов с понижением температуры следует связать с ростом их механических свойств и снижением пластичности. Рост скорости звука при понижении температуры, на наш взгляд, объясняется ростом теплопроводности у металлов. Дело в том, что поглощение ультразвука при распространении упругой волны сопровождается необратимым переходом ее энергии в тепло [11]. Поэтому чем выше теплопроводность металла, тем выше скорость звука. В работе [12] показано, что теплопроводность и скорость ее роста при снижении температуры у титанового сплава выше, чем у нержавеющей стали. Алюминиевые сплавы (Д16, АМг3 и АМг6) имеют наибольшую теплопроводность и скорость ее роста с понижением температуры.

Металлы с ОЦК решеткой имеют наименьшую сопротивляемость хрупкому разрушению [1-3]. Но они имеют и наименьшую теплопроводность [12]. Поэтому теплопроводность должна оказывать влияние как на сопротивляемость хрупкому разрушению, так и $T_{вх}$.

По соответствующим зависимостям (рис. 2) построена зависимость скорости звука от ударной вязкости для стали 12Х18Н10Т и сплава ВТ8. Для сплава Д16 данная зависимость не представлена, т.к. ударная вязкость данного материала не изменяется с понижением температуры. Данная зависимость, как видно из рис. 3, хорошо аппроксимируется полиномом второй степени.

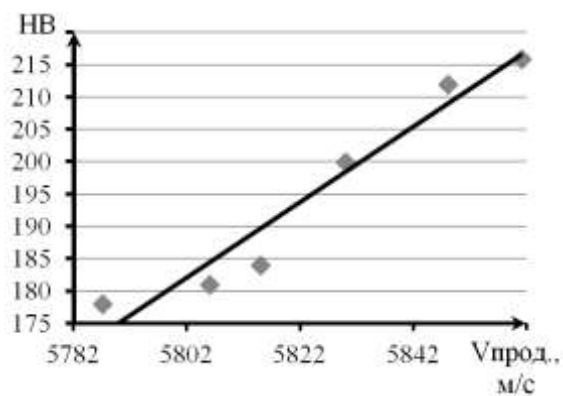




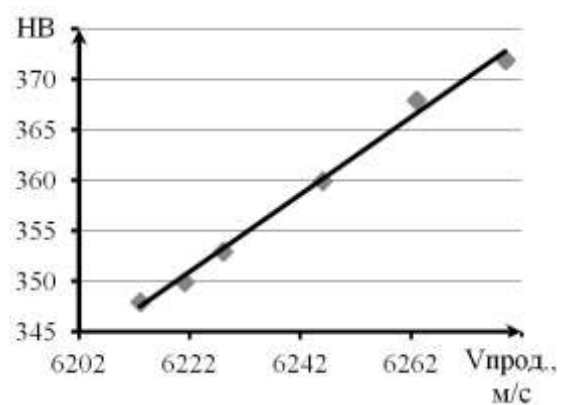
б)

Рис.3. Зависимости скорости звука от ударной вязкости для стали 12X18H10T (а) и сплава ВТ8 (б)

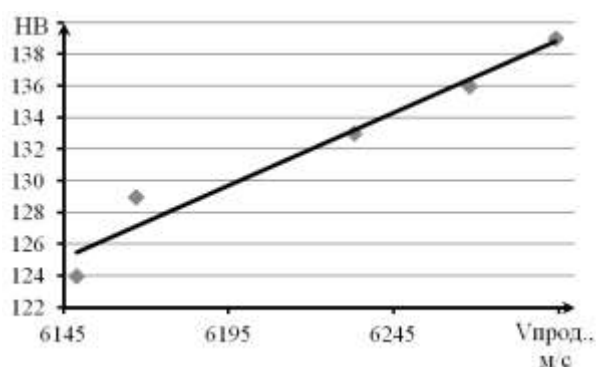
По полученным значениям твердости (рис. 1) при разных температурах испытания и соответствующих значений скорости звука построены зависимости скорости звука от твердости для исследуемых материалов (рис. 4).



а)



б)



в)

Рис.4. Зависимости скорости звука от твердости для металлов:

а) сталь 12X18H10T; б) сплав ВТ8; в) сплав Д16

Полученные зависимости (рис. 3, 4) подтверждают связь ударной вязкости металлов и их твердости со скоростью распространения звука в металле, и коррелируют с результатами, полученными ранее в ходе исследований [5,6,8-10].

Таким образом, по значениям скорости распространения звука в металлах можно прогнозировать уровень ее ударной вязкости, а также твердость при низких температурах, а, следовательно, склонность к хрупкому разрушению конструкций и механизмов.

Благодарности

Исследование выполнено по гранту РФФИ № 19-19-00332 «Разработка научно обоснованных подходов и аппаратно-программных средств мониторинга поврежденности конструкционных материалов на основе подходов искусственного интеллекта для обеспечения безопасной эксплуатации технических объектов в арктических условиях».

Список литературы:

- Анализ хладостойкости металлов с различным типом кристаллического строения / Кабалдин Ю.Г., Хлыбов А.А., Аносов М.С. и др. // Вестник ИЖГТУ имени М.Т. Калашникова. - 2019. - Том 22. - №3. - С. 48-55. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-3-48-55
- Новицкий Л.А., Кожевников И.Г. Теплофизические свойства материалов при низких температурах. Справочник. М.: Машиностроение, 1975.- 206 с.
- О природе низкотемпературной хрупкости сталей с ОЦК – структурой / Панин В.Е., Деревягина Л.С., Лемешев Н.М., Корзников А.В., Панин А.В., Казаченок М.С. // Физическая мезомеханика. - 2013. - №6. - С. 5-15.
- L. Tong, Low temperature impact toughness of high strength structural steel / L. Tong, L. Niu, S.Jing, L. Ai, X. Zhao // Thin-Walled Structures. – 2018. – Is. 132. – Pp. 410-420 DOI: 10.1016/j.tws.2018.09.009.
- Муравьев В.В., Зуев Л.Б., Комаров К.Л. Скорость звука и структура сталей и сплавов. Новосибирск: Наука, 1996, - 184 с.
- Об ультразвуковом контроле неоднородности механических свойств горячекатаной стали / Полетика И.М., Егорова Н.М., Куликова О.А. Зуев Л.Б. // Журнал технической физики. - 2001. - Т.71. - №3. - С.37-40.
- Акустический метод оценки поврежденности аустенитной стали при термопульсациях / Углов А.Л., Хлыбов А.А., Пичков С.Н., Шишулин Д.Н.// Дефектоскопия. - 2016. - № 2. - С. 3-10.
- P. Nanekar, Characterization of material properties by ultrasonic / P. Nanekar, B. K. Shah// BARC Newsletter. – 2003. –Is.249. – Pp. 25-38.
- H. Carreón, Relation between hardness and ultrasonic velocity on pipeline steel welded joints / H. Carreón, G. Barrera, C. Natividad, M. Salazar, A. Contreras // Nondestructive Testing And Evaluation. – 2015. – Vol. 31. – Is. 2. – Pp. 1-12. DOI: 10.1080/10589759.2015.1074231.

10. F. Uzun, A. N. Bilge “Application of ultrasonic waves in measurement of hardness of welded carbon steels” Defence Technology, 2015. – Vol. 11. – Is. 3. – Pp. 255-261. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2015.05.002>
11. Ларионов В.П., Кузьмин В.Р., Слепцов О.И. и др. Хладостойкость материалов и элементов конструкций: результаты и перспективы. - Новосибирск: Наука, 2005. - 290 с.
12. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. - 352 с.

RESEARCH OF THE RELATIONSHIP OF THE RATE OF ULTRASOUND IN METALS WITH THEIR IMPACT VISCOSITY AND HARDNESS UNDER THE CONDITIONS OF REDUCED TEMPERATURES

Alexander A. Khlybov

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

Yuri G. Kabaldin

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

Maksim S. Anosov

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

Dmitry A. Ryabov

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

Yuri I. Matveev

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper presents the results of the study of the relationship between the velocity of propagation of longitudinal waves in a metal with the values of impact toughness and hardness in a wide range of low temperatures. It's been found that with a decrease of temperature, an increase of hardness, a decrease of impact toughness and an increase of the velocity of propagation of a longitudinal wave in the studied metals are observed, and the velocity of propagation of a longitudinal wave has a close correlation with the characteristics under consideration. An increase of the speed of sound with decreasing temperature, in our opinion, is explained by an increase of the thermal conductivity of metals. Thus, by the values of the speed of sound propagation in metals, it is possible to predict the level of its impact toughness, as well as hardness at low temperatures, and, consequently, the tendency to brittle fracture of structures.

Keywords: P-wave velocity, impact strength, hardness, metals, low temperatures

References:

1. Kabaldin Yu.G., Khlybov A.A., Anosov M.S. et al. “Analiz khladostoykosti metallov s razlichnym tipom kristallicheskogo stroyeniya” (Analysis of cold resistance of metals with different types of crystalline structure) Vestnik IZHGTU imeni M.T. Kalashnikova 22.3 (2019): 48-55. DOI: 10.22213 / 2413-1172-2019-3-48-55
2. Novitsky L.A., Kozhevnikov I.G. Teplofizicheskiye svoystva materialov pri nizkikh temperaturakh. Spravochnik. M.: Mashinostroyeniye, 1975. 206 p.
3. Panin V.E., Derevyagina L.S., Lemeshev N.M., Korznikov A.V., Panin A.V., Kazachenok M.S. O prirode nizkotemperaturnoy khrupkosti staley s OTSK – strukturoy (About the nature of low-temperature brittleness of steels with bcc – structure) Physical mesomechanics 6 (2013): 5-15.
4. L. Tong, L. Niu, S. Jing, L. Ai, X. Zhao “Low temperature impact toughness of high strength structural steel” Thin-Walled Structures, 132 (2018): 410-420 DOI: 10.1016/j.tws.2018.09.009.
5. Muravyov V.V., Zuev L.B., Komarov K.L. Skorost' zvuka i struktura staley i splavov. Novosibirsk: Nauka, 1996. 184 p.
6. Poletika I.M., Egorova N.M., Kulikova O.A., Zuev L.B. Ob ul'trazvukovom kontrole neodnorodnosti mekhanicheskikh svoystv goryachekatanoy stali (On ultrasonic testing of the inhomogeneity of the mechanical properties of hot-rolled steel) Zhurnal tekhnicheskoy fiziki 71.3 (2001): 37-40.

7. Uglov A.L., Khlybov A.A., Pichkov S.N., Shishulin D.N. Akusticheskiy metod otsenki povrezhdennosti austenitnoy stali pri termopul'satsiyakh (Acoustic method for assessing the damage of austenitic steel during thermal pulsations) Defectoscopy 2 (2016): 3-10.
8. P. Nanekar , B. K. Shah "Characterization of material properties by ultrasonic" BARC Newsletter, 249 (2003): 25-38.
9. H. Carreón, G. Barrera, C. Natividad, M. Salazar, A. Contreras "Relation between hardness and ultrasonic velocity on pipeline steel welded joints" Nondestructive Testing And Evaluation, 31(2) (2015): 1-12 DOI: 10.1080/10589759.2015.1074231.
10. F. Uzun, A. N. Bilge "Application of ultrasonic waves in measurement of hardness of welded carbon steels" Defence Technology, 11 (3) (2015): 255-261. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2015.05.002>
11. Larionov V.P., Kuzmin V.R., Sleptsov O.I. and others. Khladostoykost' materialov i elementov konstruksiy: rezul'taty i perspektivy.- Novosibirsk: Nauka, 2005. 290 p.
12. Carslow G., Jaeger D. Teploprovodnost' tverdykh tel. M.: Nauka, 1964. 352 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Хлыбов Александр Анатольевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение, технология материалов и термическая обработка металлов», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: hlybov_52@mail.ru

Кабалдин Юрий Георгиевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроения», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: uru.40@mail.ru

Аносов Максим Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры «Технология и оборудование машиностроения», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: anosov-maksim@list.ru

Рябов Дмитрий Александрович, ассистент кафедры «Материаловедение, технологии материалов и термическая обработка металлов», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, e-mail: ryabovdm1996@gmail.com

Матвеев Юрий Иванович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатации судовых энергетических установок», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: matveeveseu@mail.ru

Alexander A. Khlybov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Materials Science, Materials Technology and Heat Treatment of Metals, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 603950

Yuri G. Kabaldin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology and Equipment of Mechanical Engineering, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 603950

Maksim S. Anosov, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Equipment for Mechanical Engineering, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 603950

Dmitry A. Ryabov, Assistant of the Department of Materials Science, Materials Technology and Heat Treatment of Metals, Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva, 603950

Yuri I. Matveev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Operation of Ship Power Plants, Volga State University of Water Transport, 603951

Статья поступила в редакцию 01.11.2020 г.

Раздел II

**Эксплуатация судового
энергетического оборудования**



Section II

Operation of ship power equipment



УДК 621.43

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.129>

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВРАЩЕНИЯ ПРИВОДА ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В.И. Кочергин

Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Россия

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4883-1458>

С.П. Глушков

Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Россия

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5745-4658>

А.В. Курмыгин

Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Россия

Аннотация. В данной статье содержатся результаты исследований параметров неравномерности вращения привода элементов судовых энергетических установок. Описаны теоретические предпосылки выполнения подобного анализа и приведен пример расчетов параметров крутильно-колебательной системы привода топливного насоса высокого давления и регулятора частоты вращения. Расчеты показали, что при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания не исключается возможность возникновения резонансных колебаний кулачкового вала топливного насоса. Конструктивные особенности, неисправности, нарушение регулировок или правил эксплуатации могут способствовать работе элементов энергетических установок на резонансных частотах и вызывать эксплуатационные отказы. Анализ неравномерности вращения привода агрегатов и дополнительного оборудования судовых энергетических установок является целесообразным техническим мероприятием, позволяющим повысить надежность судовых энергетических установок.

Ключевые слова: судовая энергетическая установка, крутильные колебания, резонанс, топливный насос, регулятор частоты вращения

Введение

Значительное количество эксплуатируемых судовых энергетических установок (СЭУ) имеет в своем составе тепловые машины циклического действия, в первую очередь, двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Такие машины, как правило, состоят из большого количества отдельных элементов в виде механизмов и агрегатов со сложной кинематикой движения составных частей. Но, если измерение и оценка вибрации судовых пропульсивных установок в целом регламентируется соответствующими стандартами, то исследованию причин возникновения неравномерности вращения и вибрационной нагрузке приводов отдельных элементов СЭУ уделяется в настоящее время недостаточное внимание.

Присущие энергетической установке переходные режимы работы, связанные с постоянным изменением внешней нагрузки, характеризуются периодическим увеличением или уменьшением угловых скоростей валов и валопроводов, что приводит к повышению механических напряжений и удельных нагрузок на отдельные агрегаты и детали СЭУ. Особенно актуальным и требующим большего внимания этот вопрос

представляется в связи с предполагаемой перспективой широкого применения альтернативных видов топлива, существенно изменяющих кинетику рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания [1, 2, 3, 4, 5].

Присущая вращательному движению вала любой энергетической установки неравномерность вращения суммируется с неравномерностью вращения валопровода, связывающего двигатель с внешней нагрузкой, и объясняется неизбежной неравномерностью производства крутящего момента в процессе осуществления рабочего цикла ДВС, а также возможной неравномерностью механических потерь, затрачиваемых на привод навесного и дополнительного оборудования; изменением состава или типа применяемого топлива; присутствием неуравновешенных сил и моментов. Еще одной причиной, способствующей возникновению неравномерности вращения, является наличие крутильных колебаний валов и валопроводов [5, 6, 7].

Особое место при исследовании причин возникновения неравномерности вращения коленчатого вала двигателя следует уделить неравномерности цикловой подачи топлива в различные цилиндры двигателя и различным характером протекания процессов сгорания в отдельных цилиндрах многоцилиндрового ДВС [8]. Известно, что даже при условии своевременного проведения регулировок топливной аппаратуры остаётся теоретическая возможность возникновения неравномерности подачи топлива в отдельные цилиндры двигателя до 12,7 %, что в итоге может привести к ухудшению внешних характеристик энергетической установки и сказаться на надёжности работы цилиндرو-поршневой группы [9]. Теоретически, при условии обеспечения идентичности протекания рабочих процессов отдельных циклов, что, впрочем, достаточно сложно реализовать на практике, эффективная мощность двигателя может повыситься на величину от 5 до 7 %, а удельный эффективный расход топлива снизиться на величину, составляющую от 2 до 4 % [10].

Влияние неустановившихся режимов работы на показатели эффективности СЭУ тесно связано с процессами регулирования частоты вращения и с необходимостью учета неравномерности нагрузки на гребные винты, а также связи винтовых характеристик с величиной относительной поступи гребного винта. Прямая передача на винт судовых дизелей означает относительно небольшие значения приведенного момента инерции, что делает их достаточно чувствительными к периодическому изменению нагрузки на гребной винт, особенно при свежей и штормовой погоде. В этих условиях требуется обеспечение качества процессов регулирования частоты вращения, что возможно только при оптимизации параметров работы системы автоматического регулирования, управлении параметрами чувствительности регулятора частоты вращения и регулярном контроле технического состояния регуляторов частоты вращения в условиях эксплуатации [11, 12, 13].

При эксплуатации энергетических установок в условиях неустановившихся нагрузок с двигателями внутреннего сгорания, оснащенных неисправными регуляторами, отмечаются потеря мощности и снижение производительности машин при одновременном увеличении расхода топлива. Неисправности регуляторов частоты вращения вносят существенные погрешности в результаты диагностирования технического состояния ДВС [14], а также в процесс работы судовых систем автоматического управления. Несмотря на это, контроль колебаний в приводах элементов судовых энергетических установок и контроль технического состояния регуляторов частоты вращения в эксплуатационных условиях практически не применяется. Отчасти это связано с отсутствием доступных технических средств и несовершенством классических методов анализа нестационарных частотно-временных сигналов, что может приводить к невозможности локализации причин возникновения повышенной вибрации [15].

Целью данного исследования является изучение параметров неравномерности вращения крутильно-колеблющихся систем элементов судовой энергетической уста-

новки на примере привода топливного насоса высокого давления (ТНВД) и совмещенного с ним регулятора частоты вращения. Для достижения поставленной цели необходимо выбрать методику расчета, разработать структурную схему привода и определить вероятность возникновения резонансных колебаний в приводе ТНВД.

Данные агрегаты выбраны в качестве объекта исследования по той причине, что вынужденные колебания привода регулятора частоты вращения, вызываемые действиями вращающих моментов и появляющиеся вследствие наличия неравномерности частоты вращения коленчатого вала энергетической установки, не только влияют на текущие значения величины подачи топлива, но и могут быть причиной поломок деталей. Учет наличия крутильных колебаний и сопутствующих вибрационных процессов крайне необходим при анализе параметров неравномерности вращения валов энергетической установки. В реальных условиях эксплуатации СЭУ вынужденные крутильные колебания валопроводов, приводящих в действие чувствительные элементы системы автоматического регулирования, сопровождаются действием моментов сопротивления вращению, возникающих вследствие необходимости перемещения плунжерных пар ТНВД и повышенного трения в механизмах привода по причине наличия неисправностей, повышенного трения либо низкой температуры окружающего воздуха. В том случае, когда источники сопротивления находятся на значительном расстоянии от вероятного места возникновения резонансных частот, их влияние на амплитуды вынужденных колебаний представляется незначительным и его можно не учитывать. Но при наличии в вращательно-колеблющейся системе элемента привода энергетической установки резонансных или же околорезонансных колебаний действительные значения амплитуд колебаний элементов привода могут изменяться в значительном диапазоне и приводить к дифференцированным искажениям передаваемого приводом крутящего момента в различных по длине сечениях вала.

Методы исследования

Предлагаемая методика анализа неравномерности вращения элементов судовых энергетических установок основана на анализе параметров движения крутильно-колебательных систем [16]. Кинетическую энергию системы элементов валовой линии привода агрегатов любого элемента СЭУ можно описать следующей формулой:

$$T = \frac{1}{2} (J_1 \dot{\varphi}_1^2 + J_2 \dot{\varphi}_2^2 + \dots + J_n \dot{\varphi}_n^2), \quad (1)$$

где φ – значения угла поворота элементов привода с точкой отсчета от равновесного недеформированного положения; J – величина моментов инерции элементов валовой линии.

Значения угла поворота элементов друг относительно друга, а также величины жесткости на кручение каждого из участков привода C определяют потенциальную энергию любого вала или валопровода, в данном случае, привода топливного насоса и механического центробежного регулятора:

$$П = \frac{1}{2} [C_1 (\varphi_2 - \varphi_1)^2 + C_2 (\varphi_3 - \varphi_2)^2 + \dots + C_{n-1} (\varphi_n - \varphi_{n-1})^2] \quad (2)$$

Если крутящие моменты, воздействующие на недиссипативную систему, состоящую из $(n+1)$ сосредоточенных в определенных точках масс, представить в виде функции синуса, то показатели вынужденных колебаний k -ой гармоник вала привода элементов топливоподающей аппаратуры и регулятора частоты вращения можно определить с помощью следующего выражения:

$$JX + CX = M, \quad (3)$$

где M – матрица возмущающих моментов.

По аналогии с выражением (3) вынужденные колебания диссипативных систем описывается следующим уравнением:

$$JX + \Psi X + CX = M, \quad (4)$$

где Ψ – параметр демпфирования j -го участка валовой линии.

Диссипативной в данном случае считается такая система, в которой обусловленные внутренним трением в материале валопровода силы рассеяния энергии оказывают влияние на собственные частоты колебаний. При этом параметры жёсткости C и рассеяния энергии Ψ на каждом отдельном участке исследуемой диссипативной системы представляют связанные между собой величины.

Матрица M в выражениях (3) и (4) имеет следующий вид:

$$M = \begin{bmatrix} M_1 \sin(k\omega_{e1}t + \chi_k) \\ M_2 \sin(k\omega_{e2}t + \chi_k) \\ \dots \\ M_{n+1} \sin(k\omega_{en+1}t + \chi_k) \end{bmatrix},$$

где k – показатель порядка гармонически изменяющегося момента; χ_k – значение начальной фазы гармонически изменяющегося момента k -го порядка; ω_e – угловая скорость, зависящая от периода изменения крутящего момента; t – время отсчета.

Преобразовав известное уравнение Лагранжа второго ряда, получаем следующий результат:

$$J_n \ddot{\varphi}_n + C_{n-1} (\varphi_n - \varphi_{n-1}) = 0. \quad (5)$$

Выражение (5) характеризует крутильные колебания валовой линии приводов потребителей энергии и агрегатов СЭУ. Возможно его представление в несколько ином виде:

$$J_1 \ddot{\varphi}_1 + J_2 \ddot{\varphi}_2 + \dots + J_n \ddot{\varphi}_n = 0. \quad (6)$$

Данное равенство показывает, что главный момент суммарного количества движений элементов привода относительно оси вала при наличии свободных крутильных колебаний является постоянной величиной и его можно принять равным нулю. Поэтому в целях анализа запаздывания управляющего сигнала в линии привода регулятора частоты вращения достаточно рассматривать только те колебательные движения, которые вызываются наличием скручивания участков валовой линии.

Чтобы определить параметры главных колебаний валовой линии привода, имеющих одинаковую круговую частоту для всех элементов, с учетом параметров скручивания вала принимаем:

$$\varphi_n = \alpha_n \sin(\omega t + \gamma). \quad (7)$$

Подставив принятые выражением (2) значения углов в дифференциальное уравнение (7) и сократив их на величину $\sin(\omega t + \gamma)$, получим уравнение, позволяющее определить значения ω , α_1 , α_2 , ... α_n :

$$(C_{n-1} - \omega^2 \cdot J_n) \cdot \alpha_n - C_{n-1} \cdot \alpha_{n-1} = 0. \quad (8)$$

С этой целью необходимо составить систему уравнений, описывающих совместное движение всех элементов структурной динамической схемы привода, и представить их в матричном виде в соответствующей математической среде. Наличие конкретных данных о технических параметрах всех элементов крутильно-колебательной системы, а именно о сосредоточенных массах (**моментах** инерции) валов, о поступательно движущихся массах плунжерных пар топливного насоса высокого давления и передаточных отношениях привода ТНВД и валика регулятора, даёт возможность

провести динамический анализ привода регулятора частоты вращения либо иных аналогичных элементов СЭУ.

Результаты

Непосредственно на рейку топливного насоса с механическим принципом управления воздействуют толчки со стороны плунжерных пар, вызванные реакцией струи топлива в момент отсечки, а также силы инерции, обусловленные продольной вибрацией остова двигателя. Кроме того, необходимо учитывать колебательные процессы в приводе чувствительного элемента регулятора частоты вращения, например, колебания частоты вращения грузов центробежного механического регулятора, вибрации рейки ТНВД и сопутствующие им крутильные колебания валов. Заменяем традиционную модель привода механического центробежного регулятора частоты вращения на дискретную (рис. 1). Крутильная схема дискретной многомассовой системы для многоцилиндрового ДВС с механическим ТНВД и центробежным регулятором частоты вращения имеет n вращающихся масс и обладает $n-1$ квазиупругими связями.

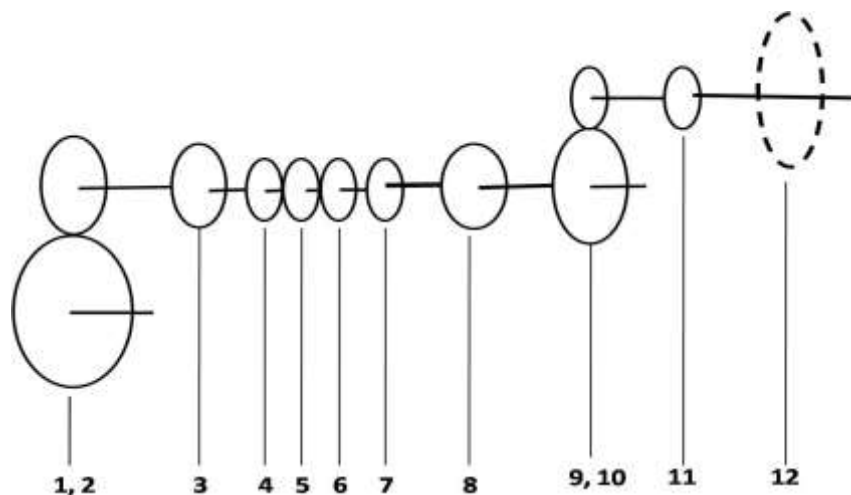


Рис.1. Дискретная модель привода топливного насоса и регулятора частоты вращения:
1, 2 – шестерни привода топливного насоса; 3 – кулачковый вал ТНВД; 4, 5, 6, 7 – кулачки топливного насоса; 8 – демпфер привода регулятора; 9, 10 – привод регулятора; 11 – валик регулятора; 12 – грузы регулятора

Проведём расчет собственных колебаний кулачкового вала ТНВД, рассматривая его как крутильно-колеблющуюся цепную, неразветвленную, нередуцированную многомассовую систему. Для выполнения расчета вал разбивается на участки, соответствующие отдельным массам. Участки в данной расчетной системе характеризуются таким параметром, как жёсткость, а характеристиками масс являются моменты инерции.

Для удобства дальнейших расчетов крутильно-колеблющаяся система представлена в виде крутильной схемы, состоящей из восьми масс и соответственно семи участков, где J_n – масса инерции n -го сечения, C_n – жёсткость участка вала (см. рис. 2).

нальной частоте вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания не исключается возможность возникновения резонансных колебаний кулачкового вала ТНВД. Следовательно, конструктивные особенности, неисправности, нарушение регулировок или правил эксплуатации могут способствовать работе элементов энергетических установок на резонансных частотах и вызывать эксплуатационные отказы. Проведённые исследования дают основание предполагать, что анализ неравномерности вращения привода агрегатов и дополнительного оборудования судовых энергетических установок на основе изучения характера и параметров крутильных колебаний является целесообразным техническим мероприятием, позволяющим прогнозировать и предупреждать вероятные отказы элементов СЭУ.

Список литературы:

1. Bueno A.V. Internal combustion engine indicating measurements / A.V. Bueno, J.A. Velásquez, L.F. Milanez // *Applied Measurement Systems*. – 2012, February. – P. 23–44.
2. Changwei J. Effect of hydrogen addition on combustion and emissions performance of a spark ignition gasoline engine at lean conditions / J. Changwei, W. Shuofeng // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2009. – No. 34. – P. 7823–7834.
3. Dhole A.E. Effect on performance and emissions of a dual fuel diesel engine using hydrogen and producer gas as secondary fuels / A.E. Dhole, R.B. Yarasu, D.B. Lata, A. Priyam // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2014. – No. 39. – P. 8087–8097.
4. Лебедев Б.О. Особенности использования альтернативных видов топлива для судовых энергетических установок / Б.О. Лебедев, С.П. Глушков, В.И. Кочергин // *Морские интеллектуальные технологии*. – 2018. – № 4(42). – Т. 4. – С. 139–143.
5. Глушков С.П. Влияние использования альтернативных видов топлива на характеристики рабочих процессов ДВС / С.П. Глушков, В.И. Кочергин, В.В. Красников // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. – 2018. – № 1. – С. 24–32.
6. Самсонов В.И. Двигатели внутреннего сгорания морских судов / В.И. Самсонов, Н.И. Худов. – М.: Транспорт, 1990. – 368 с.
7. Dipak Gulhane. Estimation of vibration response of reciprocating engine crankshaft / Dipak Gulhane, G.D. Mehta, S.M. Awatade // *Research Journal of Engineering and Technology*. – 2016. – Vol. 03. – No. 10. – P. 1251–1257.
8. Агуреев И.Е. Исследование управления межцикловой неидентичностью рабочих процессов поршневых двигателей внутреннего сгорания / И.Е. Агуреев, А.В. Ахромешин, М.Ю. Власов // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – № 3–1. – 2010. – С. 213–219.
9. Саенко М.М. Влияние различных факторов на величину и равномерность подачи топлива в цилиндры дизеля / М.М. Саенко, А.П. Жигадло, А.Л. Иванов // *Вестник СибАДИ*. – 2013. – Вып. 4(32). – С. 29–35.
10. Федянов Е.А. Межцикловая неидентичность рабочего процесса в поршневых двигателях внутреннего сгорания с принудительным зажиганием / Е.А. Федянов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2014. – 111 с.
11. Васильев М.В. Устройство управления судовым двигателем внутреннего сгорания / М. В. Васильев // *Вестник Мурманского государственного технического университета*. – 2008. – Т. 11. – № 3. – С. 471–474.
12. Zhelezniak A.A. Model of evaluation of the efficiency of the ships diesel generator control / A.A. Zhelezniak // *Vibroengineering Procedia*. – 2016. – No. 8. – P. 36–44.
13. Zhilenkov A. Evaluation of rotation frequency gas-diesel engines when using automatic control system / A. Zhilenkov, A. Efremov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2017. – Vol. 50. – P. 1–7.
14. Schiroslawski W. Technologische Aspekte des Diagnosesystems DS-1000 / W. Schiroslawski // *Agrartechnik*. – 1985. – No. 5. – S. 38–41.
15. Kochergin V. Optimization of insensitivity rate of speed control systems / V. Kochergin, S. Glushkov // *Advances in Intelligent Systems and Computing. VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019*. – Volume 1 Volume 1115 (2020). – 2020. – P. 737–746.

16. Глушков, С.П. Анализ динамических характеристик крутильно-колебательных систем судовых энергетических установок / С.П. Глушков, С.С. Глушков, В.И. Кочергин, Б.О. Лебедев // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 2(40). – Т. 2. – С. 59–66.
17. Расчёт и измерение крутильных колебаний валопроводов и агрегатов. Руководство Российского Речного Регистра Р.009–2004. – М.: Российский Речной Регистр, 2016. – 24 с.

RESEARCH OF NON-UNIFORM ROTATION OF SHIP POWER PLANT ELEMENTS DRIVE

Victor I. Kochergin

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4883-1458>

Sergey P. Glushkov

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Aleksandr V. Kurmygin

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Abstract. This article contains the results of studies of the rotation unevenness parameters of the ship power plants elements drive. Theoretical prerequisites of such analysis are described and an example of calculation of parameters of torsional-oscillating system of high-pressure fuel pump drive and speed controller is given in the article. Calculations have shown that at the nominal crankshaft speed of the internal combustion engine, the possibility of resonant oscillations of the camshaft of the fuel pump is not excluded. Design features, faults, violation of adjustments or operating rules can contribute to the operation of elements of power plants at resonant frequencies and cause operational failures. Analysis of rotation unevenness of elements drive and additional equipment of ship's power plants is an appropriate technical measure that allows to increase the reliability of ship's power plants.

Keywords: ship power plant, torsional oscillations, resonance, fuel pump, speed controller

References:

1. Bueno A.V., Velásquez J.A., Milanez L.F. Internal combustion engine indicating measurements . Applied Measurement Systems, 2012, February, pp. 23-44.
2. Changwei J., Shuofeng W. Effect of hydrogen addition on combustion and emissions performance of a spark ignition gasoline engine at lean conditions. International Journal of Hydrogen Energy, 2009, no. 34, pp. 7823-7834.
3. Dhole A.E., Yarasu R.B., Lata D.B., Priyam A. Effect on performance and emissions of a dual fuel diesel engine using hydrogen and producer gas as secondary fuels. International Journal of Hydrogen Energy, 2014, no. 39, pp. 8087-8097.
4. Lebedev B.O., Glushkov S.P., Kochergin V.I. Osobennosti ispol'zovaniya al'ternativnykh vidov topliva dlya sudovykh energeticheskikh ustanovok. Morskie intellektual'nye tekhnologii, 2018, no. 4(42), vol. 4, pp. 139-143.
5. Glushkov S.P., Kochergin V.I., Krasnikov V.V. Vliyaniye ispol'zovaniya al'ternativnykh vidov topliva na kharakteristiki rabochikh protsessov. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Series: Morskaya tekhnika i tekhnologiya, 2018, no. 1, pp. 24-32.
6. Samsonov V.I., Khudov N.I. Dvigateli vnutrennego sgoraniya morskikh sudov. Moscow, Transport, 1990, 368 p.
7. Gulhane Dipak, Mehta G.D., Awatade S.M. Estimation of vibration response of reciprocating engine crankshaft. Research Journal of Engineering and Technology, 2016, vol. 03, no. 10, pp. 1251-1257.
8. Agureev I.E. Akhromeshin A.V., Vlasov M.Yu. Issledovanie upravleniya mezhtsiklovy neidentichnost'yu rabochikh protsessov porshnevnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, no. 3-1, 2010, pp. 213-219.
9. Saenko M.M., Zhigadlo A.P., Ivanov A.L. Vliyaniye razlichnykh faktorov na velichinu i ravnomernost' podachi topliva v tsilindry dizelya. Vestnik SibADI, 2013, no. 4(32), pp. 29-35.

10. Fedyanov E.A. Mezhsiklovaya neidentichnost' rabocheho protsessa v porshnevnykh dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya s prinuditel'nym zazhiganiem. Volgograd, VolgGTU, 2014, 111 p.
11. Vasil'ev M.V. Ustroystvo upravleniya sudovym dvigatelem vnutrennego sgoraniya. Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2008, vol. 11, no 3, pp. 471-474.
12. Zhelezniak A.A. Model of evaluation of the efficiency of the ships diesel generator control. Vibroengineering Procedia, 2016, no. 8, pp. 36-44.
13. Zhilenkov A., Efremov A. Evaluation of rotation frequency gas-diesel engines when using automatic control system. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, vol. 50, pp. 1-7.
14. Schiroslawski W. Technologische Aspekte des Diagnosesystems DS-1000. Agrartechnik, 1985, no. 5, pp. 38-41.
15. Kochergin V., Glushkov S. Optimization of insensitivity rate of speed control systems. Advances in Intelligent Systems and Computing: VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019, Volume 1 Volume 1115, 2020, pp. 737-746.
16. Glushkov S.P., Glushkov S.S., Kochergin V.I., Lebedev B.O. Analiz dinamicheskikh kharakteristik krutil'no-kolebatel'nykh sistem sudovykh energeticheskikh ustanovok. Morskie intellektual'nye tekhnologii, 2018, no. 2(40), vol. 2, pp. 59-66.
17. Raschet i izmerenie krutil'nykh kolebaniy valoprovodov i agregatov. Rukovodstvo Rossiyskogo Rechnogo Registra R.009–2004. Moscow, Rossiyskiy Rechnoy Registr, 2016, 24 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кочергин Виктор Иванович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», Сибирский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО «СГУПС»), 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, e-mail: vkplus2011@yandex.ru

Victor I. Kochergin, PhD Of Technical Sciences, head of Technology of Transport Mechanical Engineering and Operation of Cars Department, Siberian Transport University, Russia, 191, D. Kovalchuk st, Novosibirsk, 630049

Глушков Сергей Павлович, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», Сибирский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО «СГУПС»), 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, e-mail: rccpl@ngs.ru

Sergey P. Glushkov, Dr. Sci. Tech., Professor of Technology of Transport Mechanical Engineering and Operation of Cars Department, Siberian Transport University, Russia, 191, D. Kovalchuk st, Novosibirsk, 630049

Курмыгин Александр Владимирович, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», Сибирский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО «СГУПС»), 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, e-mail: av.kurmygin@yandex.ru

Aleksandr V. Kurmygin, Graduate Student of Technology of Transport Mechanical Engineering and Operation of Cars Department, Siberian Transport University, Russia, 191, D. Kovalchuk st, Novosibirsk, 630049

Статья поступила в редакцию 08.10.2020 г.

УДК 629.526

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.130>

СНИЖЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ НА РУМПЕЛЕ ПОДВЕСНОГО ЛОДОЧНОГО МОТОРА ПРИ ПОМОЩИ ТРАНЦЕВОЙ МНОГОСЛОЙНОЙ ВИБРОНАКЛАДКИ

М.Н. Покусаев

*Астраханский государственный технический университет,
г. Астрахань, Россия*

А.А. Хмельницкая

*Астраханский государственный технический университет,
г. Астрахань, Россия*

К.Е. Хмельницкий

*Астраханский государственный технический университет,
г. Астрахань, Россия*

А.А. Кадин

*Астраханский государственный технический университет,
г. Астрахань, Россия*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы измерения и снижения локальной вибрации от подвесных лодочных моторов на маломерных судах. Уровень локальной вибрации на румпеле подвесного лодочного мотора маломерного судна согласно ГОСТ 28556-2016 «Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности» должен быть указан в инструкциях по эксплуатации моторов, но, согласно проведенному авторами анализу, такие сведения производителями не указываются. Для измерения вибрации использовалась современная поверенная аппаратура, включая виброметр «Экофизика-110А». Для снижения вибрации подвесных лодочных моторов авторами была разработана многослойная транцевая накладка и проведены измерения на моторной лодке с подвесными лодочными моторами «SEA PRO 2.5» и «SEA PRO 5.0». В результате исследования установлено, что разработанная транцевая многослойная накладка обеспечивает максимальное снижение локальной вибрации на 77% при измерениях виброускорения, m/s^2 . Также установлено, что в России фактически нет нормативных требований к уровню вибрации на румпеле подвесных лодочных моторов, при этом, предусмотренная в ГОСТ 28556-2016 «Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности» норма заводов-производителей, чаще всего не указывается в реальных инструкциях по эксплуатации. Это требует разработки и введения норм по локальной вибрации на румпеле подвесных лодочных моторов или расширения деятельности существующих нормативных документов в области маломерных судов.

Ключевые слова: вибрация, маломерное судно, подвесной лодочный мотор, виброизоляция

Введение

Вибрацию, возникающую при работе активного судового энергетического оборудования и воспринимаемую экипажем, следует разделять на общую и локальную. Локальная вибрация передается судовым механикам, рулевым и другим членам экипажа через кисти рук при работе с инструментами, штурвалами, рукоятками и т.д. Особенная ситуация с локальной вибрацией обстоит (на наш взгляд) с маломерными судами, оснащенными подвесными лодочными моторами в качестве главных двигателей. В процессе эксплуатации маломерного судна неизбежен контакт рулевого с подвесным лодочным мотором через румпель управления. В связи с этим, помимо общей вибра-

ции от корпуса лодки, рулевой испытывает локальную вибрацию, передаваемую от подвесного лодочного мотора через рукоятку управления на его кисть. Локальная вибрация оказывает вредное влияние на человека и может приводить к нарушениям потоков крови в периферических сосудах, нарушений неврологических и локомоторных функций рук. При эксплуатации моторной лодки локальная вибрация может воздействовать длительное время на человека и, соответственно, представляет опасность для его здоровья, поэтому тема исследования является актуальной и необходимой.

В разное время исследованиями вибрации на судах занимались такие специалисты, как: Шербакова О.В., [1]; Худяков С.А., [2]; Дятченко С.В., [3]; Барановский А.М., [4]; Tian Ran Lin, [5]; Ravindra B. Ingle, [6] и другие, однако, эти исследования касаются крупных морских и речных судов и не рассматривают вибрацию маломерных судов, количество которых в России достигает 1,5 млн. шт. по данным Государственной инспекции по маломерным судам (ГИМС) на 2018 год.

Для изучения уровня локальной вибрации от подвесного лодочного мотора, которая передается на рулевого, нами был проведен анализ нормативно-технической литературы в данной области и ряд практических экспериментов на моторной лодке с подвесными моторами. Практическая значимость данного исследования заключается в получении новых результатов локальной вибрации на румпелях управления подвесных лодочных моторов китайского производства моделей «SEA PRO 2.5» и «SEA PRO 5.0» при различных вариантах виброизоляции.

Материалы и методы:

Сведения о локальной вибрации на органах управления подвесных лодочных моторов содержатся в ГОСТ 28556-2016 «Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности», [7]. В данном нормативном документе есть общие требования по уровню вибрации: моторы с румпельным управлением должны быть сконструированы и изготовлены таким образом, чтобы при правильной их установке и нормальной эксплуатации вибрация, передающаяся через руки рулевого, была бы минимизирована насколько это возможно. Во-вторых, указано, что среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения, выражаемого в m/s^2 , измеренное по ГОСТ 31192.1-2004 (ИСО 5349-1:2001) «Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования», [8] в контакте руки с рычагом румпеля при частоте вращения двигателя, равной половине максимальной частоты вращения при эффективной мощности, указывается изготовителем в инструкции пользователя или ином аналогичном документе.

Для измерения локальной вибрации на румпеле подвесного мотора был проведен ряд экспериментов с лодкой по типу «Riverboat 36 Chirok» (длиной 3400 мм и шириной 1230 мм с фанерным транцем толщиной 40 мм), оснащенной двумя вариантами виброизоляции крепления мотора: с разработанной авторами транцевой многослойной накладкой и с резино-техническим полотном марки БК-2045. Транцевая изолирующая накладка (с толщиной 4,5 мм) имеет пятислойную конструкцию - слои прорезинированной ткани УНКЛ-3 (0,5 мм), силиконового герметика (1,5 мм), армирующей металлической сетки (0,5 мм), силиконового герметика (1,5 мм), прорезиненной ткани УНКЛ-3 (0,5 мм).

В соответствии с ГОСТ 31192.1-2004 (ИСО 5349-1:2001) «Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования», [8] измерения локальной вибрации на румпеле производились согласно схеме контакта типа «сжатая ладонь» (рис. 1) по трем направлениям: оси X, Y, Z.

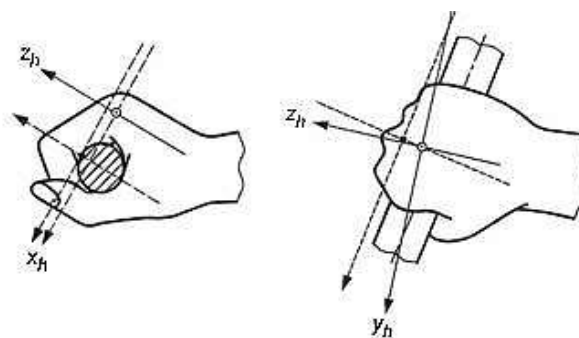


Рис. 1 – Схема измерения локальной вибрации на румпеле подвесного лодочного мотора

В инструкции по эксплуатации подвесных лодочных моторов «SEA PRO», [9] отсутствуют данные по уровню средней вибрации на румпеле. Каких-либо отдельных документов, регламентирующих нормы локальной вибрации на румпеле подвесного лодочного мотора в России на сегодняшний день нет. Наиболее близкими в данном случае можно с некоторой долей допущения считать требования СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах», [10], согласно которым допустимый уровень локальной вибрации по всем трем направлениям не должен превышать 126 дБ в относительной величине. Согласно этому же документу, логарифмические уровни виброускорения в относительных единицах - дБ определяются по формуле:

$$L_a = 10 \cdot \lg_{10} \left(\frac{a^2}{a_0^2} \right), \quad (1)$$

Где a - величина виброускорения, м/с^2 ;
 a_0 - величина виброускорения, м^2 , принимаемая за опорную величину и равная 10^{-6} м/с^2 , соответствующая 0 дБ.

Результаты

Результаты измерения виброускорения на румпеле в зависимости от варианта виброизоляции и режима работы подвесного лодочного мотора «SEA PRO 2.5» представлены в табл. 1, а для «SEA PRO 5.0» в табл. 2.

Таблица 1

Результаты измерения вибрации на румпеле мотора «SEA PRO 2.5», дБ

Вид виброизоляции	Ось	Режим работы подвесного мотора		
		Малый ход	Средний ход	Полный ход
Без виброизоляции	X	148,3	148,5	150,4
	Y	145,0	147,9	150,4
	Z	148,6	154,9	152,3
С резино-техническим полотном	X	147,1	147,5	144,5
	Y	144,5	146,3	150,6
	Z	148,6	150,9	156,6
С вибронакладкой	X	143,5	145,8	141,7
	Y	143,1	148,3	149,8
	Z	147,4	152,0	147,2

Таблица 2

Результаты измерения вибрации на румпеле мотора «SEA PRO 5.0», дБ

Вид виброизоляции	Ось	Режим работы подвешенного мотора		
		Малый ход	Средний ход	Полный ход
Без виброизоляции	X	144,9	149,0	155,8
	Y	143,6	149,6	154,7
	Z	149,6	148,5	154,0
С резино-техническим полотном	X	144,1	155,1	149,0
	Y	139,6	154,4	155,5
	Z	141,6	152,0	155,1
С вибронакладкой	X	142,9	144,0	144,6
	Y	141,0	136,9	149,8
	Z	141,1	138,7	148,9

Результаты табл. 1 и 2 для наглядности изображены на рис. 2 и 3 в виде столбчатых диаграмм.

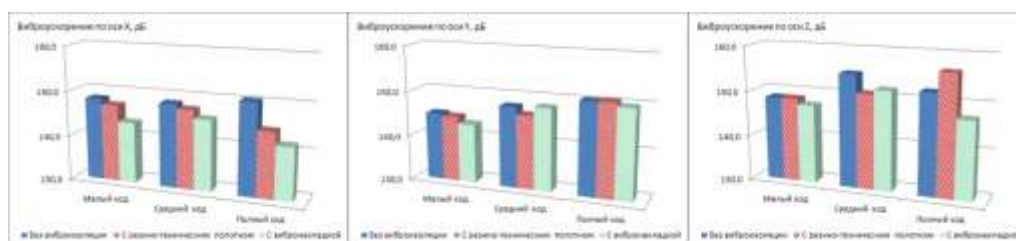


Рис. 2 – Локальная вибрация на румпеле мотора «SEA PRO 2.5»

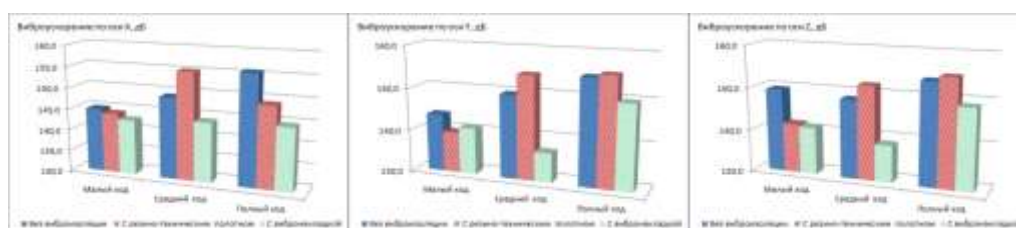


Рис. 3 – Локальная вибрация на румпеле мотора «SEA PRO 5.0»

Обсуждение

Измеренная в ходе проведенных экспериментов величина виброускорения при всех вариантах виброизоляции и режимов работы моторов превышает 126 дБ, согласно требованиям СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах», если использовать этот нормативный документ для нормирования вибрации на румпеле подвешенных лодочных моторов. Максимальное превышение составляет 19,5% при использовании виброускорения в дБ. Наиболее большие значения виброускорения у подвешенных моторов обеих марок наблюдаются на полном ходу. Изоляция при помощи разработанной многослойной

накладки является перспективным способом снижения вибрации подвесных лодочных моторов, поскольку снижает виброускорение до 8,5% при анализе результатов в дБ и до 77% при анализе результатов в м/с².

Заключение, выводы

В России нет нормативных требований к уровню вибрации на румпеле подвесных лодочных моторов; при этом, предусмотренная в ГОСТ 28556-2016 «Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности» норма заводов-производителей, чаще всего не указывается в реальных инструкциях по эксплуатации. Это требует разработки и введению норм по локальной вибрации на румпеле подвесных лодочных моторов или расширения деятельности существующей нормативных документов в области маломерных судов.

Список литературы:

1. Щербакова О.В. Виброизоляция структурного шума на судах: диссертация ... кандидата технических наук: 05.08.05 // Щербакова Ольга Валерьевна; [Место защиты: Новосибирская государственная академия водного транспорта]. - Новосибирск, 2014. - 149 с.
2. Худяков С.А. Вибростойкость и конструировании упругих систем судовых энергетических установок: диссертация ... доктора технических наук: 05.08.05 // Худяков Сергей Алексеевич; [Место защиты: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет]. - Комсомольск-на-Амуре, 2014. - 318 с.
3. Дятченко С.В. Разработка методов проектного обеспечения нормативных характеристик вибрации на судах промыслового флота: диссертация ... доктора технических наук : 05.08.03, 05.08.01 // Дятченко Сергей Васильевич; [Место защиты: Нижегород. гос. техн. ун-т им П.Е. Алексеева]. - Калининград, 2011. - 435 с.
4. Барановский А.М. Теоретические основы эффективной виброизоляции на судах: Дис. ... д-ра техн. наук : 05.08.05 Новосибирск, 2000. - 316 с.
5. Tian Ran Lin, Jie Pan, Peter J.O'Shea, Chris K. Mechefske. A study of vibration and vibration control of ship structures // *Marine Structures*, Volume 22, Issue 4, October 2009, p. 730 - 743.
6. Ravindra B. Ingle, Brijendra K. Saxena, Md. Ayaz J. Khan. A theoretical investigation of natural frequencies of vibration and noise due to engine and propeller systems of an UltraLarge Crude Carrier (ULCC) // *JOURNAL OF LOW FREQUENCY NOISE, VIBRATION AND ACTIVE CONTROL*, Vol. 29, №1, 2010. p. 41 – 43.
7. ГОСТ 28556-2016. Моторы лодочные подвесные. Общие требования безопасности. - М.: Стандартинформ, 2016. - 8 с.
8. ГОСТ 31192.1-2004 (ИСО 5349-1:2001). Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования. - М.: Стандартинформ, 2010. - 24 с.
9. Инструкция по эксплуатации подвесных лодочных моторов «SEA PRO». ZHEJIANG PIONEER MACHINERY & ELECTRON, 2020. – 98 с.
10. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. - М.: Стандартинформ, 2016. - 72 с.

REDUCTION OF LOCAL VIBRATION ON THE TILLER OF AN OUTBOARD MOTOR USING A TRANSOM MULTI-LAYER VIBRATION PAD

Mikhail N. Pokusaev

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Anastasia A. Khmel'nitskaya

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Konstantin E. Khmel'nitsky

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Aleksei A. Kadin

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

Abstract. The article deals with the measurement and reduction of local vibration from outboard motors on small vessels. The level of local vibration on the tiller of an outboard motor of a small vessel according to GOST 28556-2016 "Outboard Motors. General safety requirements" should be specified in the motor operating instructions, but, according to the authors' analysis, such information is not specified by manufacturers. To measure the vibration, modern verified equipment was used, including the "Ecofizika-110A" vibrometer. To reduce the vibration of outboard motors, the authors developed a multi-layer transom plate and carried out measurements on a motor boat with outboard motors "SEA PRO 2.5" and "SEA PRO 5.0". As a result of the study, it was found that the developed multi-layer transom overlay provides a maximum reduction of local vibration by 77% when measuring vibration acceleration, m/S². It is also established that in Russia there are actually no regulatory requirements for the level of vibration on the tiller of outboard motors, while the system provided for in GOST 28556-2016 "Outboard motors. General safety requirements" standard of manufacturing plants, most often not specified in the actual operating instructions. This requires the development and introduction of standards for local vibration on the tiller of outboard motors or the expansion of existing regulations in the field of small vessels.

Keywords: vibration, small boat, outboard motor, vibration isolation

References:

1. Shcherbakova O.V. Vibroizolyaciya strukturnogo shuma na sudah: dissertaciya ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.08.05. Shcherbakova Olga Valer'evna; [Mesto zashchity: Novosibirskaya gosudarstvennaya akademiya vodnogo transporta]. - Novosibirsk, (2014): 149 s.
2. Hudyakov S.A. Vibrostojkost' i konstruirovaniy uprugih sistem sudovyh energeticheskikh ustanovok: dissertaciya ... doktora tekhnicheskikh nauk: 05.08.05. Hudyakov Sergej Alekseevich; [Mesto zashchity: Komsomol'skij-na-Amure gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet]. Komsomol'sk-na-Amure, (2014): 318 s.
3. Dyatchenko S.V. Razrabotka metodov proektnogo obespecheniya normativnyh karakteristik vibracii na sudah promyslovogo flota: dissertaciya ... doktora tekhnicheskikh nauk : 05.08.03, 05.08.01 / Dyatchenko Sergej Vasil'evich; [Mesto zashchity: Nizhegor. gos. tekhn. un-t im R.E. Alekseeva]. - Kaliningrad, (2011): 435 s.
4. Baranovskij A.M. Teoreticheskie osnovy effektivnoj vibroizolyacii na sudah: Dis. ... d-ra tekhn. nauk : 05.08.05 Novosibirsk, (2000): 316 s.
5. Tian Ran Lin, Jie Pan, Peter J.O'Shea, Chris K. Mechefske. A study of vibration and vibration control of ship structures // Marine Structures, Volume 22, Issue 4, October 2009, p. 730- 743.
6. Ravindra B. Ingle, Brijendra K. Saxena, Md. Ayaz J. Khan. A theoretical investigation of natural frequencies of vibration and noise due to engine and propeller systems of an UltraLarge Crude Carrier (ULCC). JOURNAL OF LOW FREQUENCY NOISE, VIBRATION AND ACTIVE CONTROL, Vol. 29, №1, (2010): 41- 43.
7. GOST 28556-2016. Motory lodochnye podvesnye. Obshchie trebovaniya bezopasnosti. M.: Standartinform, (2016): 8 s.
8. GOST 31192.1-2004 (ISO 5349-1:2001). Vibraciya. Izmerenie lokal'noj vibracii i ocenka ee vozdejstviya na cheloveka. CHast' 1. Obshchie trebovaniya. - M.: Standartinform, (2010): 24 s.
9. Instrukciya po ekspluatcii podvesnyh lodochnyh motorov «SEA PRO». ZHEJIANG PIONEER MACHINERY & ELECTRON, (2020): 98 s.
10. SanPiN 2.2.4.3359-16. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k fizicheskim faktoram na rabochih mestah. M.: Standartinform, (2016): 72 s.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Покусаев Михаил Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация водного транспорта», Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: evt2006@rambler.ru

Mikhail N. Pokusaev, Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department «Operation of water transport», Astrakhan State Technical University, 16, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056

Хмельницкая Анастасия Александровна, ассистент кафедры «Эксплуатация водного транспорта», Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: khmelnitskayaaa@mail.ru

Anastasia A. Khmelnitskaya, assistant of the Department "Operation of water transport", Astrakhan state technical University (AGTU), 414056, Astrakhan, Tatishcheva str., 16

Хмельницкий Константин Евгеньевич, аспирант кафедры «Эксплуатация водного транспорта», Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: chuchera80@mail.ru

Konstantin E. Khmelnitsky, postgraduate student of the Department «Operation of water transport», Astrakhan State Technical University, 16, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056

Кадин Алексей Алексеевич, магистрант кафедры «Эксплуатация водного транспорта», Астраханский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «АГТУ»), 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: evt2006@rambler.ru

Aleksei A. Kadin, master's student of the Department «Operation of water transport», Astrakhan State Technical University, 16, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056

Статья поступила в редакцию 24.09.2020 г.

Раздел III

***Экономика, логистика и менеджмент
на транспорте***



Section III

***Economics, logistics and transport
management***



УДК 658.7

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.131>

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ КАК НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ЛОГИСТИКИ В РОССИИ

М.Ю. Артамонова

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова,
г. Новороссийск, Россия

Д.А. Землянкин

ООО «Рускон», г. Новороссийск, Россия

Аннотация. Данная работа посвящена решению проблемы недостаточного уровня цифровизации логистической отрасли, в частности - контейнерных перевозок на железной дороге России. Целью работы является определение уровня развития ИТ-интеграции в железнодорожном транспорте на базе рассмотрения одной из самых современных тенденций – облачных сервисов или «маркетплейсов». На сегодняшний день, чтобы удержать позиции на рынке грузоперевозок, нужно развивать цифровые сервисы. Рынок железнодорожных перевозок России всегда был консервативным. Чтобы его изменить, необходимо активно внедрять инновационные разработки: новые ИТ-сервисы, которых еще нет на контейнерном рынке. В работе предложено отработать вопрос использования математического моделирования каждой ячейки транспортного процесса, включая сбор видеоаналитики перевозки, для создания из различных групп данных «транспортного маркетплейса» на базе облачной технологии. Реализация данных предложений поможет отслеживать грузы, ускорит логистические процессы и станет новым драйвером для бизнеса, тем самым позволит экономить время и денежные средства на оформлении документов и складском хранении, быстрее проходить таможенные операции с грузами.

Ключевые слова: контейнер, контейнерные перевозки, цифровизация железнодорожного транспорта, маркетплейс, транспортный процесс, логистические технологии, облачные решения

Введение

В истории нашей страны железная дорога всегда имела главенствующее значение в перевозке грузов и пассажиров. Именно через железную дорогу в РФ обрабатывают 80% наземного грузопотока. За отчетные первые два квартала 2020 года динамика развития обработки грузов через железную дорогу оказалась более скромной по сравнению с результатами 2019 года: загрузка увеличилась на 2,2%, а грузопоток снизился на 4,5%.

В первой половине 2020 года тенденция была отрицательной. Железнодорожные перевозки сократились на 4,5% за счет снижения оборота строительных грузов, черных металлов и угля (рис. 1).

Огромный урон был нанесен контейнерным перевозкам в 2009 г., когда контейнерооборот уменьшился в 1,5 раза (в сравнении с 2008 г.); причиной послужил прошедший финансово-экономический кризис, как часть мирового финансового кризиса, возник дефицит финансовых и экономических ресурсов. И лишь в начале 2010 г. наступила оттепель экономической ситуации в стране, и был замечен небольшой прирост перевозок грузов в контейнерах. Рост ВВП и стабилизация международных отношений привели к росту спроса на морские контейнерные перевозки в портах РФ.

В 2015 г. на международной арене против России были введены санкции, которые заморозили динамику увеличения контейнерооборота, сократив его до 3,94 млн. TEU.

Массово пострадал импортный грузопоток и транспортно-экспедиционное обслуживание порожних контейнеров внутри страны, терминальные стоки для накопления и хранения контейнерного оборудования практически опустели. В этот же период наблюдалось снижение перевалки во всех бассейнах РФ, кроме Арктического.

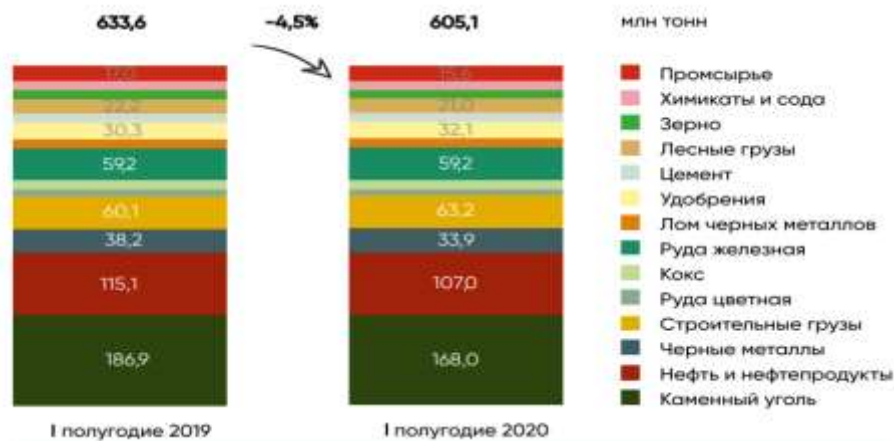


Рис.1 Сравнение грузооборота железнодорожного транспорта России за первое полугодие 2020 года к первому полугодию 2019 года¹

Менее всего пострадали порты Азово-Черноморского бассейна, так как часть товаров из стран, попавших под санкции, заменила продукция из Египта, Пакистана, Бразилии и Южной Африки. И уже в 2019 году контейнерооборот составил 1,8 млн TEU. По всем направлениям динамика была положительной. Оборот импортных контейнеров увеличился на 8,7%, каботажных – на 7,7%, транзитных – на 8,5%, экспортных – на 2% [1].

Основным фактором для увеличения доли TEU является контейнеризация массовых и самых популярных видов грузов. Для этого в стране ведется политика субсидирования железной дороги, государство проявляет активное участие в увеличении контейнерных перевозок. Но развитие инфраструктуры находится на недостаточном уровне, станции и терминалы перегружены, система автоматизации технологических процессов не развита, а документооборот перегружен многочисленными бумажными формами учета. Все эти недостатки тормозят развитие железнодорожного транспорта РФ и не дают «идти в ногу со временем». На рисунке 2 предлагается рассмотреть проблемы железнодорожного транспорта в России.

¹ Саморегулируемая организация Союз участников рынка услуг операторов железнодорожного подвижного состава <http://www.railsovet.ru/>

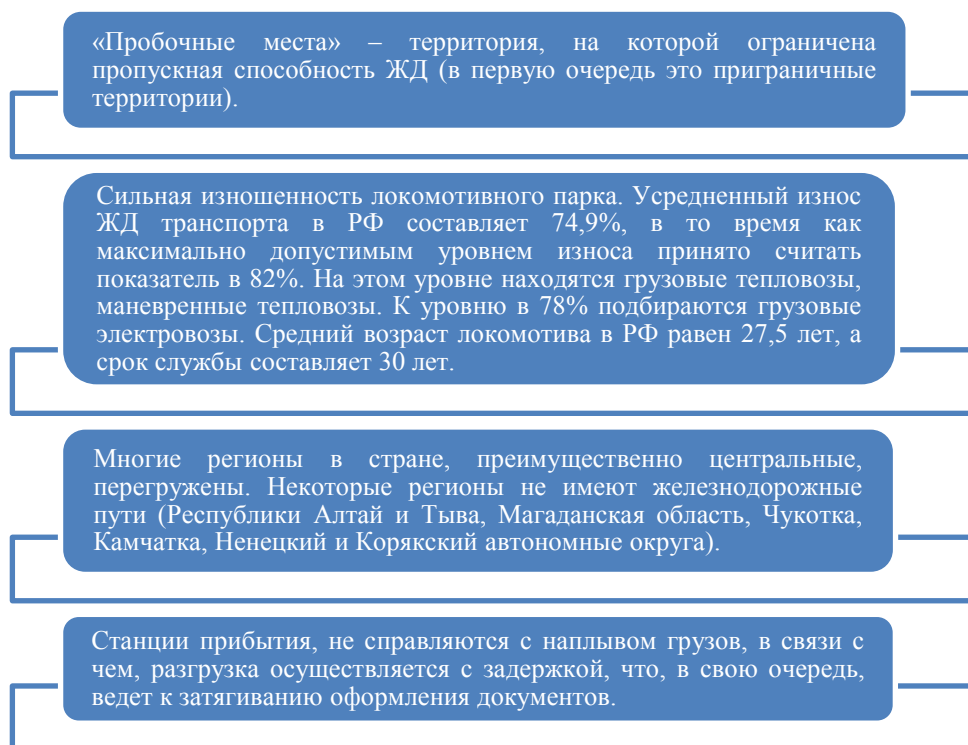


Рис.2 Ключевые проблемы железнодорожного транспорта России¹

Материалы и методы

Но основной актив железной дороги сегодня - не поезда и рельсы, а данные, которые компании собирают и анализируют, создавая тем самым единое цифровое пространство. Цифровые решения позволяют компаниям оставаться гибкими к ИТ-запросам поставщиков, отправителей и получателей. Данные решения создают здоровую конкуренцию на рынке, повышая эффективность транспортных процессов. Аналитики утверждают, что Российская Федерация находится еще очень далеко от уровня развития западной экономики [2]. В международных рейтингах, касающихся цифровизации, Россия занимает не ведущие места, а именно:

- по индексу развития информационно-коммуникационных технологий (ICT Development Index) в 2017 г. – 45 место [3, 4];
- по рейтингу конкурентоспособности в цифровой среде (IMD World Digital Competitiveness Ranking) в 2018 г. – 40 место в 2018 г. [5];
- по индексу цифровизации бизнеса в 2019 г. – 28 место [3].

Несмотря на рассмотренные рейтинги, сегодняшнее движение страны в направлении развития цифровой экономики имеет важное направление.

Железнодорожный рынок перевозок переменчив, постоянно возникает и разрабатывается что-то новое, компании готовы внедрять передовые цифровые технологии. Так, еще несколько лет назад никто не задумывался и не слышал об использовании на железнодорожном транспорте лидаров, оптических дальномеров, способных обрабатывать входящую информацию об удаленных объектах.

Лидар (LiDAR) – интеллектуальное устройство, разработанное для дистанционного зондирования, на основе инфракрасных разрядов. Лидар испускает точечный ла-

¹ Составлено авторами

зерный импульс для сбора информации вокруг и получения заданных измерений. На данном этапе их применяют для проверки подвижного состава – вагона. Определяют, пуст он или полон, какое количество груза в нем находится, как он закреплен и распределен, не выходит ли он за разрешенные габариты (рис. 3).

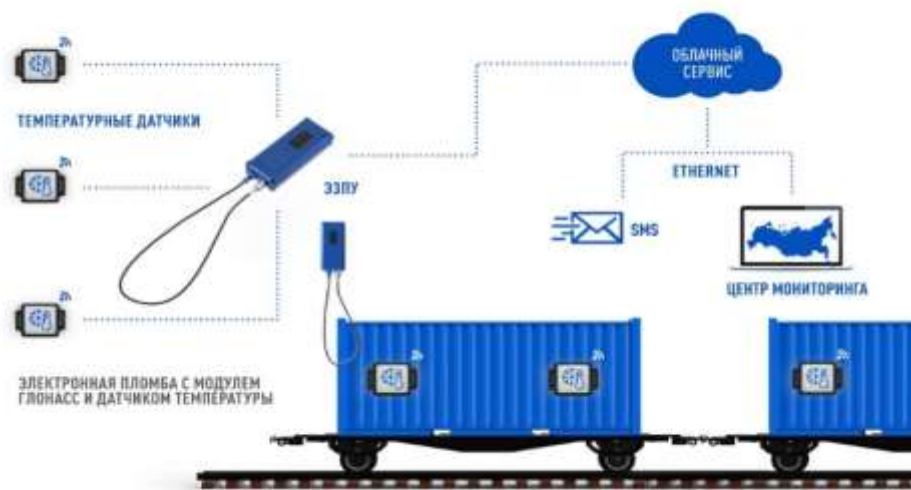


Рис. 3 Технология применения лидаров¹

С растущей конкуренцией в отрасли внедряется все больше новых подходов к организации логистики нового уровня. К таким решениям можно отнести «интернет вещей» (IoT), видеоаналитику, искусственный интеллект. Упрощенно, это концепция цифровизации, которая объединила технологии для подключения всех вещей в мире к интернету. Это позволяет управлять ими удалённо через специальное программное обеспечение. Цель проста - обмен данными в режиме реального времени через сервер или напрямую. Еще один признак наступления перемен в транспортных перевозках — готовность клиентов использовать облачные решения, яркий пример - «software as a service» (SaaS). Никто не воспринимал облачные технологии конкурентоспособными по отношению к уже устаревшей системе работы – хранении всех файлов на жестком диске одного компьютера с ограниченным доступом. Но сейчас все больше пользователей делают свой выбор в сторону облачных сервисов. Провайдеры «информационных облаков» сдают в аренду не просто готовую инфраструктуру, а реальные сервисы. Клиентам не нужно задаваться вопросами - сколько в организации данных, с какой частотой и скоростью они передаются, где находятся.

Потребность динамичного внедрения современных ИТ-разработок в железнодорожной сфере страны ставит новые цели перед всеми субъектами и объектами рынка контейнерных перевозок. У железнодорожных перевозок контейнеров очень много сложностей. Доступных и гибких сервисов организации логистики очень мало, большинство из них недостаточно развиты.

Процесс перехода к облачной экономике потребителями железнодорожной инфраструктуры в текущий период демонстрирует стабильный прирост. Системы слежения, электронный документооборот, факсимильный обмен данными, все это относится к облачным разработкам, число которых втрое увеличилось с 2017 г. по 2019 г. [6]. Кроме этого, все пользователи осознают возможные издержки и риски, что

¹ Площадка HABR <https://habr.com/ru/post/441706/>

порождает динамичную минимизацию расходов на основе соперничества участников рынка. Из-за возросшей конкуренции появляются новые меры построения бизнес-процессов в «маркетплейсе», ускоряющие сопровождение транспортного цикла доставки грузов.

Применение и создание «маркетплейсов» в контейнерных перевозках на железной дороге позволит получить ряд преимуществ (рис. 4).

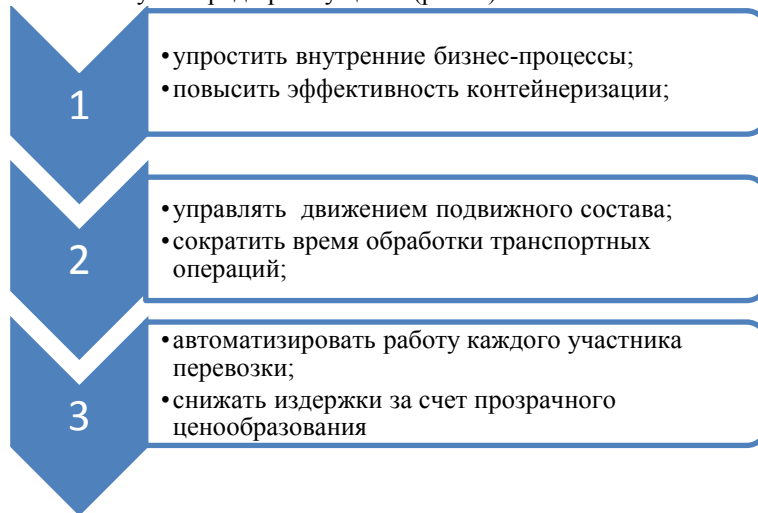


Рис. 4 Преимущества «маркетплейсов»¹

Для сравнительного анализа цифровизации контейнерных перевозок используют коэффициент цифровизации, включающий в себя 6 субкоэффициентов (рис. 5).



Рис. 5 Коэффициент цифровизации контейнерных перевозок²

Активному и динамичному созданию транспортных маркетплейсов в сфере российских железных дорог мешает недостаточно надежная система организации безопасного хранения данных. Пока нигде нет общих стандартов для защиты клиентской информации. Только в ближайшем будущем предстоит разработка единых протоколов передачи данных. Когда большее число устройств будет связано с облачными ре-

¹ Составлено авторами

² Составлено авторами

шениями транспортных маркетплейсов или «виртуальным рынком услуг», тогда проблема безопасности будет занимать первоочередные позиции и ее придется решать.

Результаты

Сформируем определение «маркетплейса» или «облака». Это - технологическая инфраструктура, которая состоит из совокупности разных ИТ-систем, интегрированных между собой, где все элементы конвергированы и предрасположены к продуктивной работе.

Построим базовую модель маркетплейса железнодорожных услуг, состоящую из ячеек полного транспортного цикла. Способ расчета показателя цифровизации опирается на балльную шкалу в промежутке от 10 до 0 баллов. Оценка, приближенная к 10, означает очень высокий уровень, 5 – допустимый уровень, 0 – низкий уровень. При помощи данной шкалы можно раскладывать транспортный процесс на мельчайшие составляющие и в динамике отслеживать влияние на процесс перевозки контейнеров по железной дороге [7].

Первостепенно необходимо встроить систему маршрутизации заявки (заказа) от поставщика (отправителя) к покупателю (получателю): по региону, индексу и другим параметрам локации оператора платформ. Необходимо настроить прямую связь. Таким образом можно выстроить алгоритм обработки заказа и получить эффективную, гибкую структуру с автоматизацией всех элементов перевозки. Поступающие через облачный сервис заявки делятся равномерно между операторами платформ. Повышается оборачиваемость железнодорожной инфраструктуры, снижаются простои вагонов, увеличивается скорость доставки грузов. Уходит необходимость проведения многодневных переговоров на тему складских запасов [8].

Все вышеперечисленное позволяет предположить, что уже сейчас можно разрабатывать и в срок от 2-х недель запускать платформы, позволяющие отправителям доставлять грузы, не думая про архаичную последовательность алгоритма выбора логистического маршрута.

К примеру, крупному заказчику нужно отгрузить свой товар сначала по железной дороге, потом осуществить перетарку в грузовой автотранспорт и так далее, пока он не будет доставлен до конечного пункта назначения (рис. 6).

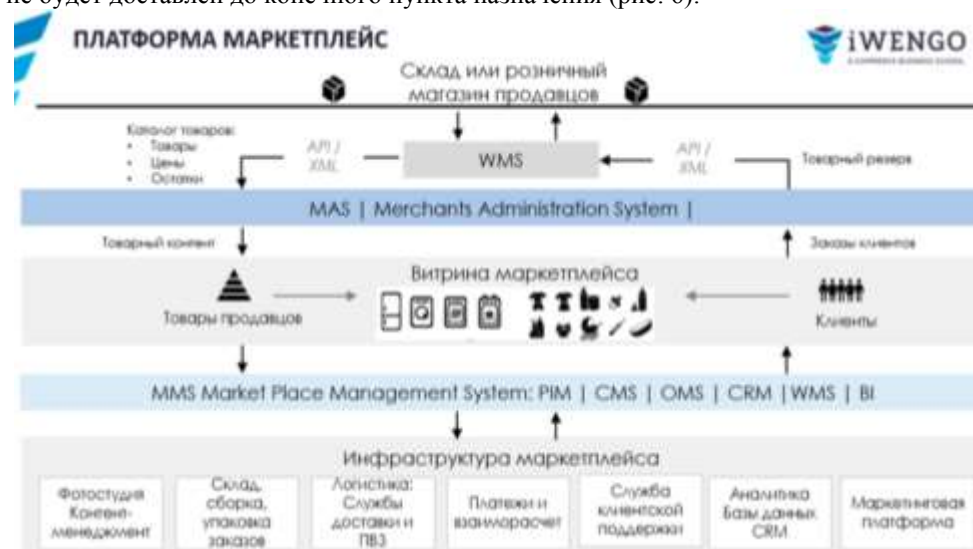


Рис. 6 Модель «маркетплейса»¹

¹ Школа E-commerce iWENGO <https://www.iwengo.ru/>

Весь этот сложный и запутанный процесс ранее приходилось планировать и просчитывать вручную до мельчайших подробностей. Предложенная модель маркетплейса с легкостью решает эту задачу. Достаточно ввести в готовой B2B (бизнес для бизнеса) системе адрес для осуществления доставки груза, адрес, где будет происходить выдача груза, габариты, весовые параметры и другие необходимые условия. Система автоматически осуществит расчет и самостоятельно предложит варианты в виде списка с набором услуг, которые максимально будут закрывать потребность клиента [9].

Подобные площадки маркетплейсов являются катализатором честной конкуренции среди компаний по доставке грузов, что впоследствии приведет к формированию наиболее привлекательных цен на перевозки.

Также не стоит забывать про более сложные модели, где активно задействуются модули SRM (Supplier relationship management), система управления взаимодействием с поставщиками, где формируется и заполняется заявка, выбирается оператор и поставщик железнодорожной услуги из ранее занесенного в White List, со временем приглашаются новые проверенные исполнители и проводятся иные важные этапы. Каждый из этих пунктов затрагивает маркетплейс [10].

Со временем маркетплейс научится автоматически отправлять заявку выигравшему подрядчику, позволит подписывать документацию через системы электронного документооборота с электронной печатью и исполнять другую необходимую для полноценного исполнения закупки последовательность. На выходе пользователь получает полностью прозрачный процесс покупки услуги [11].

Примером внедрения технологии «маркетплейс» является использование в порту Роттердам специального чипированного датчика, который позволяет определить наиболее благоприятный промежуток времени для швартовных работ с каждым судном [12]. Он позволяет быстрее обрабатывать суда у причала, повышает заработок собственников оборудования. На его основе был модифицирован морской контейнер с технологией «Container 42», которая считывала и записывала поток данных на каждом участке пути следования, погрузо-разгрузочных работ в портах перехода. Такой проект реализуется в рамках политики порта Роттердам по превращению его в «самый интеллектуальный порт» в мире [1].

А итальянский железнодорожный оператор Trenitalia благодаря таким датчикам снизил большую часть своих издержек на дополнительные работы по перемещению, ПРР и выпуск документов для внутреннего и внешнего оборотов. За год компания экономит более 100 млн. евро за счет автоматизации процессов при помощи «облачных технологий» [13].

Для математического анализа маркетплейса необходимо внедрить подсчет числа заказчиков услуги (железнодорожной перевозки), сравнить результаты с новыми клиентами и с показателями тех, которые остаются активными после 30 календарных дней. Конечной целью будет получение прироста единой базы операторов железнодорожного транспорта с каждым днем. Накопление единой базы подрядчиков не будет иметь смысла, пока количество размещенных заказов в маркетплейсе не приведет к росту заключенных сделок на услуги перевозки грузов по железной дороге. Важно математически вычислять соотношение заказчиков и исполнителей. Этот показатель отразит преобладание «предложения» или «спроса» в текущий момент времени (BTS, Buyer-to-Seller). Для этого необходимо использовать формулу:

$$BTS = B_a / S_a, \quad (01)$$

где B_a это количество активных заказчиков, а S_a это количество активных исполнителей. Для маркетплейса железнодорожного оператора, который только начинает работать, этот показатель принято считать нормальным в пределах соотношения 1:3 и 1:6.

Для того, чтобы вычислить насколько успешно перевозчики обрабатывают заказы, (при условии, что их меньшинство) введем коэффициент положительной работы R .

$$R = T_b / T_s, \quad (02)^1$$

где T_b это число выполненных запросов заказчиков, а T_s это число принятых заявок на выполнение услуг исполнителями. Если R стремится к 100% значению, значит, железнодорожный оператор может покрывать сразу несколько заявок клиентов с положительным результатом. И наоборот, если R стремится к 0% значению, значит, что железнодорожный оператор не может справиться более чем с одним заказом клиента положительно.

Теперь есть возможность определять жизненный цикл проекта (клиента) до расчетной даты (LTD, Lifetime to Date). Это позволит отразить прибыль железнодорожного оператора с одного маркетплейса за расчетную единицу времени.

$$LTD = ((M_{ch} * n) - P) * t, \quad (03)$$

где M_{ch} это средняя стоимость пользования подвижным железнодорожным составом, n это число всех заказов за установленный промежуток времени, P это расходы на содержание информационной системы (прочие расходы), а t – это время работы маркетплейса. Результат покажет эффективность и маржинальность любого заказа за необходимый временной промежуток, который пройдет через информационную базу - маркетплейс. Владелец ИТ-облака легко сможет прогнозировать ценообразование каждой перевозки, конечный покупатель будет видеть комплексную стоимость за весь спектр услуг железнодорожного оператора. Каждый участник перевозки сможет выбрать наиболее подходящие условия.

Россия планомерно подошла к новому историческому этапу, страна стоит на пороге глобальных перемен и готова активно развивать высокоинтеллектуальные технологии. Для этого есть огромный спрос клиентуры железных дорог, высокий прирост грузооборота в импортном и экспортном направлениях, а также динамичный рост контейнеризации. В ближайшее время будет создано единое информационное пространство, которое позволит каждому участнику перевозки следить за местоположением контейнеров, делать заказы для операторов платформ, проводить взаиморасчеты [14]. Со временем система сможет прогнозировать сроки доставки грузов и предлагать наилучший вариант, опираясь на предпочтения клиентов [5]. Особенно это интересно экспортерам продукции в Китай. Нарращивание общих компетенций, обмен данными и разработка современной тенденции развития цифровизации между Россией и Китаем – будущее железнодорожного транспорта [9].

Человеку необходимо уменьшать зависимость логистики от своего непосредственного участия. Именно цифровизация позволит ставить любую задачу перед железной дорогой, пример команда «ход» — вагоны начинают движение, каждое перемещение система фиксирует по времени и месту [15]. Это значительно сокращает риск человеческого фактора и гарантирует снижение количества возможных неисправностей. С точки зрения цифровизации железнодорожного транспорта, клиентам очень важно видеть процесс, знать местоположения груза, операции, которые над ним совершали. Для этого достаточно знать номер вагона, номер железнодорожной накладной или другие характеристики отправления. Далее вбить информацию на платформе маркетплейса и на карте России увидеть вживую все актуальные и необходимые данные по поездам в одном окне.

¹ Составлено авторами

Заключение

Можно сделать вывод, что «облачные технологии» имеют ряд преимуществ для клиентов железной дороги: низкая цена, большая номенклатура грузов, комментарии и рейтинги пользователей поставщиков, сокращение ПРР для обработки всего цикла транспортного процесса.

Что касается железнодорожных операторов и собственников вагонов, недостатки устаревших способов обработки заказов, включающих содержание огромного штата персонала, вытекает в огромные ежегодные издержки. Конечно же, транспортные подрядчики относят данные затраты на заказчиков (клиентов). Поэтому переход со звонков на интернет-продажи будет выгодным и для грузовладельцев, и для грузоперевозчиков – это позволит снизить цены, повысить прозрачность тарифообразования железной дороги, скорость обработки заявки и эффективность логистических услуг в целом.

Необходимость ускоренного внедрения цифровых технологий в различных сферах формирует новые вызовы для проведения исследований и разработок в области цифровой экономики. Без проведения цифровизации всей железной дороги и ее комплексной оценки, будет невозможным добиться увеличения грузооборота и контейнеризации. Поэтому объединив усилия для создания единого целостного информационного облака (исследования, разработки, инвестиции, усилия государства, бизнеса, образовательных организаций и т.п.), можно обеспечить новый уровень эффективности, как на уровне железнодорожных станций, так и в целом на уровне транспортно-логистической отрасли России [16].

Не стоит забывать, что в первую очередь, логистика — очень консервативная отрасль, именно сейчас она готова принимать новые технологии, в особенности облачные решения и ИТ-сервисы. В скором времени в России появятся первые «логистические маркетплейсы» для железнодорожных перевозок. Если весь товар будет промаркирован, манипулировать им, то есть объединять партии или разбивать их на части, станет намного проще. Ввести номер груза и увидеть, где и в каком вагоне груз едет. Отслеживать движение вагонов, независимо от того, кто их собственник. Отказаться от бумажного учета грузоперевозок и перевести все документы в электронный формат. Вот лишь часть возможностей, которые цифровизация открывает в железнодорожной логистике.

На основании вышесказанного, можно сделать вывод, что реализация данных предложений поможет отслеживать грузы, ускорит логистические процессы и станет новым драйвером для бизнеса, тем самым позволит экономить время, денежные средства на оформлении документов и складском хранении и быстрее проходить таможенные операции с грузами.

Список литературы:

1. PortNews [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://portnews.ru/news/277473/> (дата обращения 01.09.2020).
2. The Global Innovation Index (GII) 2019. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.globalinnovationindex.org/Home> (дата обращения 28.09.2020).
3. Индекс цифровизации бизнеса в 2019 г. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: https://issek.hse.ru/data/2019/02/27/1193920132/NTI_N_121_27022019.pdf (дата обращения 28.09.2020).
4. Порты переходят на цифру [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.morvesti.ru/analytics/detail.php?ID=77721> (дата обращения 10.10.2020).
5. TADviser: государство, бизнес, ИТ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/> (дата обращения 28.09.2020).
6. Цифровизация и ее место в мире [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gd.ru/articles/10334-tsifrovizatsiya> (дата обращения 27.08.2020).
7. The World Economic Forum [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.weforum.org/> (дата обращения 28.09.2020).

8. Stocked Up: 150+ Companies Attacking The Supply Chain & Logistics Space [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cbinsights.com/research/supply-chain-logistics-tech-infographic> (дата обращения 28.09.2020).
9. Berman, S., “Digital transformation: opportunities to create new business models”, *Strategy & Leadership* 40(2), EmeraldInsight, 2012, pp. 16-24.
10. Top 50 World Container Ports [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/top-50-world-container-ports> (дата обращения 28.09.2020).
11. Lycett, M., “Datafication: making sense of (big) data in a complex world”, *European Journal of Information Systems*, Springer 22(4), 2013, pp. 381–386.
12. IBM проведет масштабную цифровизацию порта Роттердам [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://iot.ru/promyshlennost/ibm-provedet-masshtabnuyu-tsifrovizatsiyu-porta-rotterdam> (дата обращения 01.10.2020).
13. Мировой рынок контейнерных перевозок [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://ar2018.trcont.com/ru/30/10> (дата обращения 28.09.2020).
14. Yan, Z., and Filimonov, V., “Comparative Study of International Carriage of Goods by Railway between CIM and SMGS”, *Frontiers of Law in China* 13(1), pp. 115-136.
15. Бенсон Д., Уайтхед Дж. Транспорт и доставка грузов: пер. с англ. - М.: Транспорт, 2000. - 279 с.
16. Школа E-commerce iWENGO [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iwengo.ru/courses/onlayn-vebinar-kak-ustroen-marketpleys> (дата обращения 27.08.2020).

DIGITALIZATION OF CONTAINER TRANSPORT BY RAIL AS A NEW STAGE OF LOGISTICS DEVELOPMENT IN RUSSIA

Maria Y. Artamonova

Admiral F.F. Ushakov state Maritime University, Novorossiysk, Russia

Dmitry A. Zemlyankin

Ruskon LLC, Novorossiysk, Russia

Abstract. The work is devoted to solving the problem of the insufficient level of digitalization of logistics industry, in particular, container transportation on Russian railways. The aim of the work is to determine the level of development of IT integration in railway transport based on consideration of one of the most modern trends - cloud services or “marketplaces. Today, in order to maintain positions in the cargo transportation market, it is necessary to develop digital services. Russian rail transportation market has always been conservative. To change it, it is necessary to introduce innovative developments actively: new IT services that are not on the container market yet. The paper proposes to work out the issue of using mathematical modeling of each cell of the transport process, including the collection of transportation video analytics, to create a “transport marketplace” from various data groups based on cloud technology. The implementation of these proposals will help to track cargo, speed up logistics processes and become a new driver for business, thereby saving time and money on paperwork and storage, faster customs operations with cargo.

Keywords: container, container transportation, digitalization of railway transport, marketplace, transport process, logistics technologies, cloud solutions

References:

1. PortNews [Electron. resource]. - Access mode: <http://portnews.ru/news/277473/> (date of treatment 09/01/2020).
2. The Global Innovation Index (GII) 2019. [Electron. resource]. - Access mode: <https://www.globalinnovationindex.org/Home> (date of treatment 09/28/2020).
3. Business digitalization index in 2019 [Electron. resource]. - Access mode: https://issek.hse.ru/data/2019/02/27/1193920132/NTI_N_121_27022019.pdf (date of access 09/28/2020).

4. Ports go to digit [Electron. resource]. - Access mode:
<http://www.morvesti.ru/analitics/detail.php?ID=77721> (date of access 10/10/2020).
5. TADviser: government, business, IT [Electron. resource]. - Access mode: <http://www.tadviser.ru/> (date of treatment 09/28/2020).
6. Digitalization and its place in the world [Electron. resource]. - Access mode:
<https://www.gd.ru/articles/10334-tsifrovizatsiya> (date of treatment 08/27/2020).
7. The World Economic Forum [Electron. resource]. - Access mode: <https://www.weforum.org/> (date of treatment 09/28/2020).
8. Stocked Up: 150+ Companies Attacking The Supply Chain & Logistics Space [Electron. resource]. - Access mode: <https://www.cbinsights.com/research/supply-chain-logistics-tech-infographic> (date of access 09/28/2020).
9. Berman, S., "Digital transformation: opportunities to create new business models", *Strategy & Leadership* 40(2), EmeraldInsight, 2012, pp. 16-24.
10. Top 50 World Container Ports [Electron. resource]. - Access mode:
<http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/top-50-world-container-ports> (date of access 09/28/2020).
11. Lycett, M., "Datafication: making sense of (big) data in a complex world", *European Journal of Information Systems*, Springer 22(4), 2013, pp. 381–386.
12. IBM will carry out a large-scale digitalization of the port of Rotterdam [Electron. resource]. - Access mode: <https://iot.ru/promyshlennost/ibm-provedet-masshtabnyu-tsifrovizatsiyu-porta-rotterdam> (date of treatment 10/01/2020).
13. The world market for container shipping [Electron. resource]. - Access mode:
<https://ar2018.trcont.com/ru/30/10> (date of treatment 09/28/2020).
14. Yan, Z., and Filimonov, V., "Comparative Study of International Carriage of Goods by Railway between CIM and SMGS", *Frontiers of Law in China* 13(1), pp. 115-136.
15. Benson D., Whitehead J. *Transport and cargo delivery: trans. from English.* - M.: Transport, 2000, pp. 276- 279.
16. School of E-commerce iWENGO [Electron. resource]. - Access mode:
<https://www.iwengo.ru/courses/onlayn-vebinar-kak-ustroen-marketpleys> (date of access 27.08.2020).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Артамонова Мария Юрьевна, к.э.н., доцент
ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова»,
353900, г. Новороссийск, проспект Ленина 93,
e-mail: mashenjka2005@yandex.ru

Maria Y. Artamonova, Ph. D. in Economics,
associate Professor, Admiral F. F. Ushakov
State Maritime University, 93 Lenin Ave., No-
vorossiysk, 353900

Землянкин Дмитрий Александрович, веду-
щий специалист коммерческого отдела по рабо-
те с проектными перевозками импортных гру-
зов ООО «Рускон», 353960, г. Новороссийск,
Кирилловка, улица 2-я Ж/Д петля,
e-mail: dim.z.333@yandex.ru

Dmitry A. Zemlyankin, leading specialist of
the commercial Department of work with pro-
ject transportation of imported goods Ruskon
Ltd, 2nd railway loop street, Kirillovka, No-
vorossiysk, 353960

Статья поступила в редакцию 30.10.2020 г.

ОБЪЕКТЫ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ В СУДОХОДНЫХ КОМПАНИЯХ

В.В. Крайнова

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Залогом успешной эксплуатационной и управленческой деятельности судоходных компаний является эффективный внутренний контроль. Для его реализации важнейшей задачей становится определение объектов внутреннего контроля, то есть области его приложения. Внутренний контроль как функция управления направлен на решение задач управления, поэтому, по мнению автора, объекты управления и объекты внутреннего контроля тождественны. На основании анализа подходов различных авторов к выбору объектов управления разработан авторский подход, учитывающий взаимодействие всех элементов системы управления, многоаспектность и многоуровневость управленческого процесса, отраслевые особенности судоходного бизнеса. Разработана классификация объектов внутреннего контроля в судоходных компаниях с выделением таких объектов, как ресурсы, бизнес-процессы, результаты функционирования, управленческие решения. Раскрытие содержания этих объектов показывает, что внутренний контроль охватывает все стороны деятельности и уровни управления судоходной компании, включая как управляемую, так и управляющую системы.

Ключевые слова: внутренний контроль, судоходные компании, объекты внутреннего контроля, объекты управления, ресурсы, бизнес-процессы, результаты функционирования, управленческие решения.

Введение

Внутренний контроль, выступая самостоятельной функцией управления, является и отдельной отраслью экономических знаний, научной категорией, а значит, имеет свой методологический аппарат, к которому относится «объект» как категория научного познания.

Выделение объекта позволяет очертить четкие рамки контроля, определить границы между контролем и смежными отраслями экономических знаний, другими функциями управления. Четкое определение объекта внутреннего контроля конкретизирует поле исследования, сохраняя тем самым его целостность и стройность.

Для реализации внутреннего контроля в судоходных компаниях важнейшей задачей становится определение объекта внутреннего контроля, то есть области его приложения, которая напрямую зависит от целей и задач управления на всех его уровнях [1].

На основе выделенных объектов управления судоходной компанией выстраивается структура управления и контроля этими объектами. Считаем, что внутренний контроль, являясь функцией управления, направлен на решение проблем управления, поэтому объекты управления и объекты внутреннего контроля тождественны.

При выделении экономических объектов контроля в судоходных компаниях необходимо, по нашему мнению, разработать методологический подход, учитывающий взаимодействие всех элементов системы управления, многоаспектность и многоуровневость управленческого процесса, отраслевые особенности судоходного бизнеса.

Основная часть

Для выработки собственной позиции проанализируем и обобщим мнения ученых, определяющие общую направленность при выборе объектов управления [2,3,4,5]:

необходимо выделить группы объектов для каждого уровня управления;

чем выше уровень управления, тем больше «агрегирование данных»;

объекты управления должны представлять управляемую подсистему, на которую возможно целенаправленное эффективное воздействие со стороны управляющей подсистемы;

показатели, характеризующие объекты управления, должны давать полную характеристику основных направлений деятельности на каждом управленческом уровне;

агрегирование объектов, объединенных в группы на различных уровнях управления, должно привести к образованию целостного объекта управления;

при реализации процессов управления все объекты управления взаимодействуют для достижения поставленных целей;

при рассмотрении управленческого процесса во времени выделяют три вида управления: оперативное, текущее и перспективное, что накладывает определенный отпечаток на формирование объектов и субъектов управления и контроля.

При выделении объектов контроля также необходимо учитывать, что «объекты внутреннего контроля выбираются в соответствии с его целями» [6,7]. В связи с этим напомним, что внутренний контроль – это «процесс, направленный на достижение целей: операционных, тактических и стратегических; экономичного и эффективного использования ресурсов; сохранности активов; достоверности отчетности; соблюдения законодательства и внутренних регламентов; управления рисками и предотвращением мошенничества» [8-10].

Поддерживая точку зрения о тождестве объектов управления и объектов внутреннего контроля, учитывая целеполагания процесса внутреннего контроля, можно выделить четыре группы объектов внутреннего контроля в судоходных компаниях: ресурсы, бизнес-процессы, результаты функционирования, управленческие решения (рис.1).

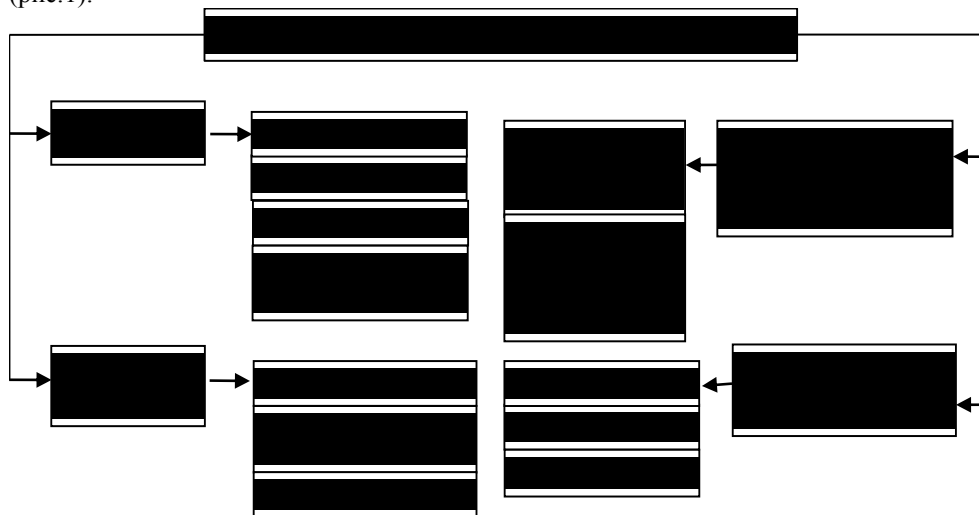


Рис. 1. Объекты внутреннего контроля в судоходных компаниях

Таким образом, под объектами внутреннего контроля на предприятиях отрасли следует понимать всю совокупность объектов управления судоходной компании, которые попадают в зону действия контроля: отдельные бизнес-процессы; активы, ис-

пользуемые для достижения поставленных целей; результаты функционирования, управленческие решения.

К ресурсам, используемым для достижения поставленных целей контроля (например, целей сохранности активов, эффективного использования ресурсов) относятся: материальные ресурсы, трудовые, финансовые, информационные.

Бизнес-процессы, качественное выполнение которых будет способствовать достижению операционных, тактических, стратегических целей судоходной компании. Деятельность судоходных компаний можно представить как совокупность бизнес-процессов: основных, поддерживающих и управляющих.

К основным бизнес-процессам судоходной компании предлагается отнести следующие бизнес-процессы: перевозка грузов, перевозка пассажиров, погрузо-разгрузочные работы. Перевозка грузов занимает центральное место в работе предприятий отрасли. К поддерживающим бизнес-процессам можно отнести: содержание рейдового и служебно-вспомогательного флота, содержание ремонтно-отстойных пунктов, ИТ-обеспечение и связь, обеспечение транспортной безопасности, управление персоналом, управление финансами, юридическое обеспечение, функционирование системы учета и внутреннего контроля [11]. Два последних поддерживающих процесса особенно важны в достижении целей: соблюдения законодательства, достоверности отчетности, управления рисками и предотвращения мошенничества [12,13,14]. К управляющим целесообразно отнести бизнес-процессы: стратегическое управление, оперативное управление бизнес-процессами, бюджетирование. [15].

К результатам функционирования судоходной компании относятся как результаты деятельности судоходной компании в целом, так и центров ответственности. По нашему мнению, важнейшим инструментом реализации контрольной функции в судоходных компаниях является бюджетирование и прослеживание связи затрат с ответственными за расходование ресурсов исполнителями. Деление судоходной компании на центры ответственности и места возникновения затрат в целях внутреннего контроля, предоставление определенных контрольных и управленческих функций ответственным исполнителям, позволяет руководителю осуществлять контроль за деятельностью судоходной компании.

Анализ практики применения системы внутреннего контроля в судоходных компаниях показал, что часто не оцениваются в полной мере последствия принятия управленческих решений, не просчитывается вероятность наступления рисков, не анализируются их причины. Поэтому объектом контроля должны стать и управленческие решения: текущие, тактические, стратегические. В соответствии с выделением трех подсистем (стратегического, тактического и оперативного управления) в системе управления судоходной компанией, а также установлением целевых ориентиров по времени достижения, мы предлагаем в качестве объекта внутреннего контроля рассматривать управленческие решения по характеру целей.

Выводы

Предложенные объекты внутреннего контроля взаимосвязаны и тождественны объектам управления; на один и тот же объект направлены как управленческая, так и контрольная деятельности. При этом на достижение объектом управления поставленной цели направлена управленческая деятельность, на обеспечение ее достижения – контрольная. Это еще раз подтверждает обусловленность и органическую связь функции контроля со всей системой управления хозяйствующим субъектом.

Выделение в качестве объектов внутреннего контроля ресурсов, бизнес-процессов, результатов функционирования, управленческих решений и раскрытие автором содержания этих объектов показывает, что внутренний контроль охватывает все стороны деятельности и уровни управления судоходной компании, включая как управляемую, так и управляющую системы.

Такой внутренний контроль обеспечит выполнение поставленных задач и достижение цели повышения эффективности функционирования судоходной компании.

Список литературы:

17. Кочерин Е.А. Основы государственного и управленческого контроля. – М: Филинь, 2000. – 384с.
18. Оперативный контроль экономической деятельности предприятия / Б. И. Валуев, Л. П. Горлова, Е. Л. Зернов и др. - М.: Финансы и статистика, 1991. - 224 с: ил.
19. Палий В.Ф. Организация управленческого учета - М.: Бератор - Пресс, 2003. - 224с.
20. Либерман В.Б. Автоматизированная система обработки экономической информации на предприятиях. - М.: Экономика, 1981. - 184с.
21. Садыкова Т.М. Методология внутреннего контроля и его организация в системе управленческого учета: диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук. – Саратов, 2005. – 370 с.
22. Бурцев В.В. Внутренний контроль: основные понятия и организация [Электронный ресурс СПС «Консультант плюс»] /В.В. Бурцев // Менеджмент в России и за рубежом. – 2002. – № 4. - С.10-14
23. Бурцев В.В. Управленческий контроль на предприятии: методология и организация /В.В. Бурцев// Управленческий учет, 2005. – № 4 – С.30-39
24. Организация и осуществление экономическим субъектом внутреннего контроля совершаемых фактов хозяйственной жизни, ведения бухгалтерского учета и составления бухгалтерской (финансовой) отчетности: информация Минфина России № ПЗ-11/2013. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/law/review/fed/fw2013-12-31.html>. (дата обращения: 19.10.2020).
25. Enterprise Risk Management. Integrated Framework. [Электронный ресурс] – режим доступа URL: http://www.coso.org/Publications/ERM/COSO_ERM_ExecutiveSummary.pdf (дата обращения: 19.10.2020).
26. International standard on auditing 400 Risk assessments and internal control . [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.auditors.it/public/images/pagine/139/allegati/A132_ISA_400.pdf (дата обращения: 20.10.2020).
27. Крайнова В.В. Информационное обеспечение внутреннего контроля в судоходных компаниях/ В.В. Крайнова//Вестник ВГАВТ-2016 - №47 - С.132-136
28. Sarbanes-Oxley Act (SOX). [Электронный ресурс] – режим доступа URL: http://www.sec.gov/about/laws/soa_2002.pdf (дата обращения: 20.10.2020)
29. International Standards on Auditing (ISA) 315. [Электронный ресурс] –режим доступа URL:<http://www.ifac.org/sites/default/files/downloads/a017-2010-iaasb-handbook-isa-315.pdf> (дата обращения: 19.10.2020).
30. International standard on auditing 500 Audit Evidence// Handbook of international quality control, auditing, review, other assurance, and related services pronouncements. - New York: International Federation of Accountants, 2010. -Part 1. - P : 380 - 396.
31. CIMA: Management Accounting: Official Terminology, 2005, p. 49

OBJECTS OF INTERNAL CONTROL IN SHIPPING COMPANIES

Vera V. Krainova

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Effective internal control is essential for successful operations and management of shipping companies. For its implementation, the most important task is to determine the objects of internal control, that is, the scope of its application. Internal control, as a management function, is aimed at solving management problems, therefore, in the author's opinion, objects of management and objects of internal control are identical. Based on the analysis of the approaches of various authors to the choice of management objects, the author's approach has been developed, taking into account the interaction of all elements of the management system, the multidimensional and multi-level nature of management process, and branch features of shipping business. A classification of objects of internal control in ship-

ping companies has been developed with the allocation of such objects as resources, business processes, results of functioning, management decisions. The disclosure of the content of these objects shows that internal control covers all levels of the shipping company, including both the managed and the control systems.

Keywords: internal control, shipping companies, internal control objects, management objects, resources, business processes, operating results, management decisions

References:

32. 1. Kocherin E.A. Osnovy gosudarstvennogo i upravlencheskogo kontrolya. – M: Filin", 2000. 384s.
33. 2. Operativnyj kontrol' ekonomicheskoy deyatel'nosti predpriyatiya / B. I. Valuev, L. P. Gorlova, E. L. Zernov i dr. - M.: Finansy i statistika, 1991. 224 s.
34. 3. Palij V.F. Organizaciya upravlencheskogo ucheta - M.: Berator - Press, 2003. 224s.
4. Liberman V.B. Avtomatizirovannaya sistema obrabotki ekonomicheskoy informacii na predpriyatiyah. - M.: Ekonomika, 1981. 184s.
5. Sadykova T.M. Metodologiya vnutrennego kontrolya i ego organizaciya v sisteme upravlencheskogo ucheta: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora ekonomicheskikh nauk. Saratov, 2005. 370 s.
6. Burcev V.V. Vnutrennij kontrol': osnovnye ponyatiya i organizaciya [Elektronnyj resurs SPS «Konsultant plyus»] /V.V. Burcev *Menedzhment v Rossii i za rubezhom*. 4(2002): 10-14
7. Burcev V.V. Upravlencheskij kontrol' na predpriyatii: metodologiya i organizaciya *Upravlencheskij uchët*, 4 (2005): 30-39
8. Organizaciya i osushchestvlenie ekonomicheskim sub'ektom vnutrennego kontrolya sovershaemyh faktov hozyajstvennoj zhizni, vedeniya buhgalterskogo ucheta i sostavleniya buhgalterskoj (finansovoj) otchetnosti: informaciya Minfina Rossii № PZ-11/2013. [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.consultant.ru/law/review/fed/fw2013-12-31.html>.
9. Enterprise Risk Management. Integrated Framework. [Elektronnyj resurs] – rezhim dostupa URL: http://www.coso.org/Publications/ERM/COSO_ERM_ExecutiveSummary.pdf
10. International standard on auditing 400 Risk assessments and internal control . [Elektronnyj resurs]. — Rezhim dostupa: http://www.auditors.it/public/images/pagine/139/allegati/A132_ISA_400.pdf
11. Krajnova V.V. Informacionnoe obespechenie vnutrennego kontrolya v sudohodnyh kompaniyah *Vestnik VGAVT* 47(2016):132-136
12. Sarbanes-Oxley Act (SOX). [Elektronnyj resurs] – rezhim dostupa URL: http://www.sec.gov/about/laws/soa_2002.pdf
13. International Standards on Auditing (ISA) 315. [Elektronnyj resurs] –rezhim dostupa URL:<http://www.ifac.org/sites/default/files/downloads/a017-2010-iaasb-handbook-isa-315.pdf> 14. International standard on auditing 500 Audit Evidence// Handbook of international quality control, auditing, review, other assurance, and related services pronouncements. - New York: International Federation of Accountants, 2010. -Part 1. - P: 380 - 396.
15. CIMA: Management Accounting: Official Terminology, 2005, p. 49

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Крайнова Вера Владимировна, к.э.н., доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа и финансов, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: krainova.vv@vsuwt.ru

Vera V. Krainova, Ph. D. in Economic Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Accounting, Analysis and Finance, Volga State University of Water Transport ", 5, Nesterov street, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 21.10.2020 г.

УДК 656.61.052(075.8)

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.133>

ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ЕЕОІ СУДНА В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОГО МОРСКОГО РЕЙСА

В.Е. Леонов

Херсонская государственная морская академия,
г. Херсон, Украина

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5590-8807>

А.Д. Сердюк

Херсонская государственная морская академия,
г. Херсон, Украина

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5122-1821>

Аннотация: Рассмотрен кругосветный переход контейнеровоза *m/v Katherine*. Целью работы является найти пути снижения конверсии углеводородного носителя в энергию перемещения контейнеровоза и эмиссии диоксида углерода при изменении параметров морского перехода: пройденный путь, скорость судна (V_s), масса перевозимого груза (G_c). Для выбранной судовой энергетической установки (*Ship Power Plant - SPP*) методом исследования и обобщения определена параметрическая зависимость V_s и конверсии углеводородного носителя от мощности на коленчатом валу *SPP*. Минимально допустимая возможная эффективность (*EEDI*) определяется по указанной в *Resolution MEPC.212(63)* модели. *Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)* определяется в зависимости от конверсии углеводородного носителя, концентрации углерода в судовом топливе при принятых на переход основных параметрах: пройденный путь, V_s , G_c . Проведены исследования изменения *EEOI* в зависимости от пройденного пути (200 до 2 800 *nautical miles*), V_s (0,01 до 24,0 *kn*), G_c (4000 до 70000 *t*).

Определена область наименьших значений эмиссии CO_2 *EEOI*, максимально приближающаяся к *EEDI*, в зависимости от изменения параметров морского перехода. Зависимость *EEOI* от G_c при постоянных значениях V_s и пройденного пути описывается гиперболой, которая при G_c в пределах 60000-70000 *t* стремится к величине *EEDI*, а при G_c приближающихся к нулю, — к бесконечности. Выявлено, что пройденный путь не влияет на значение *EEOI*. Влияние V_s на *EEOI* имеет нерегулярный характер.

Рассмотрены вопросы полной замены атмосферного воздуха на синтетический O_2 , который приведет к значительному снижению конверсии углеводородного носителя и, соответственно, к снижению эмиссии диоксида углерода и организации безбалластных морских переходов.

Ключевые слова: конструктивный, операционный коэффициент, энергетическая эффективность судна, тип судна, морской переход, скорость, масса, дистанция, конверсии углеводородного носителя, эмиссия, судовое топливо, кислород, атмосферный воздух, диоксид углерода

Введение

В последнее время International Maritime Organization (IMO) приняла Резолюции, направленные на снижение конверсии углеводородного носителя в энергию перемещения контейнеровоза (КУВН), выбросы CO_2 — главного составляющего «greenhouse gases» [1]–[5], и SO_2 от основных и вспомогательных *SPP*. [6], [7].

На Международной конференции в 1997 г. членов IMO (MARPOL 73/78) была принята Резолюция по вопросу снижения выбросов CO_2 при эксплуатации судов. Согласно этой резолюции, IMO в декабре 2003 г. приняла Resolution A.963(23). Данная резолюция отмечает актуальность снижения выбросов вредных, токсичных компо-

ментов, влияющих на изменение климата планеты и деструкции природных экосистем.

В работе [8] проведен анализ нормирования выбросов диоксида углерода энергетическими установками речных и морских судов. В качестве приемлемой модели для этого используется критерий энергетической эффективности новых/строящихся судов по Energy Efficiency Design Index (EEDI). Данный индекс характеризуется количеством CO_2 в расчете на пройденный путь и груз. Также уделен вопрос формированию понятия «конструктивный коэффициент энергетической эффективности судна», способу его расчета и аналитической оценки для всех типов судов. Установлено влияние типа судового топлива, отдельных конструктивных особенностей судов на величину EEDI.

В работе [9] рассмотрен вопрос повышения энергетической эффективности танкера для перевозки сжиженного природного газа – Liquefied Natural Gas (LNG) при использовании различного судового топлива – низкосернистого (НС) и высокосернистого (ВС). Объект исследований - танкер-газовоз дедвейтом 54 354 мт, мощность силовой установки 12 400 кВт. Для того, чтобы оценить энергетическую эффективность судна, использовали Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI), определяющийся выбросами диоксида углерода на массу транспортируемого груза и пройденный путь. Сравнительный анализ проводился с учётом изменения КУВН марки RMG 380 (ВС) и легкого дизельного топлива DMA(НС).

При использовании LNG в качестве топлива повышается экономическая и энергетическая эффективность судна, удовлетворяя требования MARPOL 73/78 с 01.01. 2020 г. относительно снижения содержания сернистых соединений в топливе не более 0,5 % масс.

По нашему мнению в данном случае при использовании LNG в качестве судового топлива следует рассмотреть вопрос о возможности использования существующих конструкций Ship Power Plant (SPP), без дополнительной реконструкции действующих SPP использование LNG в качестве топлива на судах проблематично.

В качестве дискуссии к полученным результатам в работе [9] предлагаем сравнить экономические и экологические показатели. За основу приняты исходные данные, приведенные в работе [9]. При использовании НС топлива DMA эксплуатационный коэффициент энергетической эффективности снижается всего на 6,4% по сравнению с тяжёлым судовым топливом марки RMG 380, а стоимость НС топлива DMA больше стоимости ВС тяжёлого судового топлива RMG 380 в 1,9 раза (190%).

Напрашивается резонный вопрос: стоит ли такой высокой стоимостью судового топлива (190%) добиваться столь малозначительного (всего 6,4%) увеличения ЭКЭЭС?

Тем не менее, в опубликованной ранее литературе до сих пор не проведен анализ определения минимального значения/области значений EEOI при изменении всех параметров перехода, а именно скорости судна (V_s), массы перевозимого груза (G_c), пройденного пути, гидрометеорологических условий и типа судна.

Мы считаем, что наиболее актуальным является вопрос снижения EEOI в зависимости от типа судов, параметров морского перехода, реальных гидрометеорологических условий рейса.

В представленных работах [10], [11] в условиях реального морского рейса впервые установлена параметрическая связь EEOI судна от V_s , G_c и пройденного пути. В работе [12] были рассмотрены различные типы судов и показано, что независимо от этого, а так же от G_c : V_s , и пройденного пути зависимость EEOI имеет одинаковую характеристику.

Целью данной работы является определить наименьшие значения эмиссии CO_2 EEOI судна/рейса в зависимости от ключевых параметров морского перехода с целью снижение выбросов CO_2 – главного составляющего «greenhouse gases».

Материалы и методы

Рассмотрен реальный переход, который осуществлялся по маршруту: Альхесирас, Испания (10.03.2020), – Марсашлокк, Мальта (13.03.2020) – Ливорно, Италия (16.03.2020) – Генуя, Италия (17.03.2020) – Барселона, Испания (20.03.2020) – Валенсия, Испания (22.03.2020) – Фор-де-Франс, Мартиники (01.04.2020) – Пуэнт-а-Питр, Гваделупа (02.04.2020) – Кауседо, Доминиканская Республика (03.04.2020) – Картахена, Колумбия (06.04.2020) – Кингстон, Ямайка (08.04.2020) – Хьюстон, США (12.04.2020) – Веракрус, Мексика (15.04.2020) – Мансанильо, Панама (21.04.2020) – Моин, Коста-Рика (23.04.2020)– Картахена, Колумбия (25.04.2020) – Альхесирас, Испания (05.05.2020). Общее время перехода 56 суток.

Измеренное атмосферное давление при выходе m/v Katherine из порта Альхесирас, Испания и в течении всей навигации в водах Средиземноморского бассейна составляло/колебалось от 1020 ГПа до 1024 ГПа. Сила ветра, измеренная по шкале Бофорта, была от трех до пяти баллов. Ветер – не постоянный, часто менялся в течении дня. Облачность – умеренная (3/8), что обеспечивало хорошую видимость. Состояние моря — волнение в 3-4 балла. Температура воздуха колебалась днем в пределах 15-19°C, ночью понижалась до 14-16°C.

Во время трансатлантического перехода / подхода к порту Фор-де-Франс, Мартиники сила ветра - пять-шесть баллов, облачность – средняя (4-6/8), ливневые осадки на протяжении 2-3 часов каждый день.. Видимость значительно ухудшилась при навигации к портам Хьюстон, США, Мансанильо, Панама, и Моин, Коста-Рика, где была повышенная влажность и туман, с дальностью видимости менее 1 мили.

Таблица 1

Характеристики m/v Katherine и SPP

Название судна	m/v Katherine
Тип судна	Container Vessel
Порт регистрации	Majuro, Marshall Islands
Позывной сигнал	V7ZU2
Официальный номер	4914
IMO номер	9641235
MMSI	538004914
Владелец	Ikaros Marine LLC
Менеджер	Technomar Shipping Inc.
Дата постройки	30 April 2013
Length over all, м (LOA)	270,07 m
Length between Perpendiculars, м (LBP)	258,00 m
Moulded breadth, м	42,80 m
Moulded depth, м	24,80 m
Draft _{max} , м	14,52 m
Air draft _{max} , м	61,9 m (with mast tilted: 58,5 m)
Displacement, т	103698 tons
Deadweight, т	80274 tons
Gross tonnage, т (GT)	71021 tons
Net tonnage, т (NT)	40452 tons
Классификационное общество	RINA
Судостроительная компания	Hyundai Samho Heavy Industries Co. Ltd, Korea
Главный двигатель	One (1) Hyundai MAN B&W 8S80ME-C9-2/ 33670 kW at 78 rpm
Носовое подруливающее устройство	2500 kW / 3000 HP
Вспомогательные двигатели	3?3350 kW, 1?2850 kW (4) Hyundai Himsen H32/40
Тип гребного винта	Fixed, right handed type

Ship fuel	Marine Diesel Oil (MDO)
Конверсия УН	174,15 g/kWh 100% at shop test
Суточная конверсия УН	104 tons / day
Количество членов экипажа	21

Независимо от этого m/v Katherine продолжило запланированный рейс без внесения изменений в маршрут, без понижения V_s , и m/v Katherine прибыло в порты назначения в указанное время.

Допплер-лаг DS-60 использовался для измерения V_s m/v Katherine и пройденного пути. Объем судового топлива, которое было загружено при бункеровке, определялось с помощью расходомеров, а КУВН определялся на определенный переход / момент времени по показателю уровня изменения топлива в танке.

Технические характеристики m/v Katherine и SPP приведены в таблице 1.

В качестве судового дизельного топлива использовалось Melina S30. Плотность при 15°C – 0,884 кг/л, температура воспламенения 260°C, кинематическая вязкость при 40°C–105,4 сст.

Результаты исследований

Исследования проводились согласно изложенной в представленной работе [13] методике.

На основании мощностных характеристик SPP One (1) Hyundai MAN B&W 8S80ME-C9-2/ 33670 kW at 78 rpm исследованием и обобщением мы определили параметрическую зависимость КУВН и V_s от доли используемой мощности (рис.1).

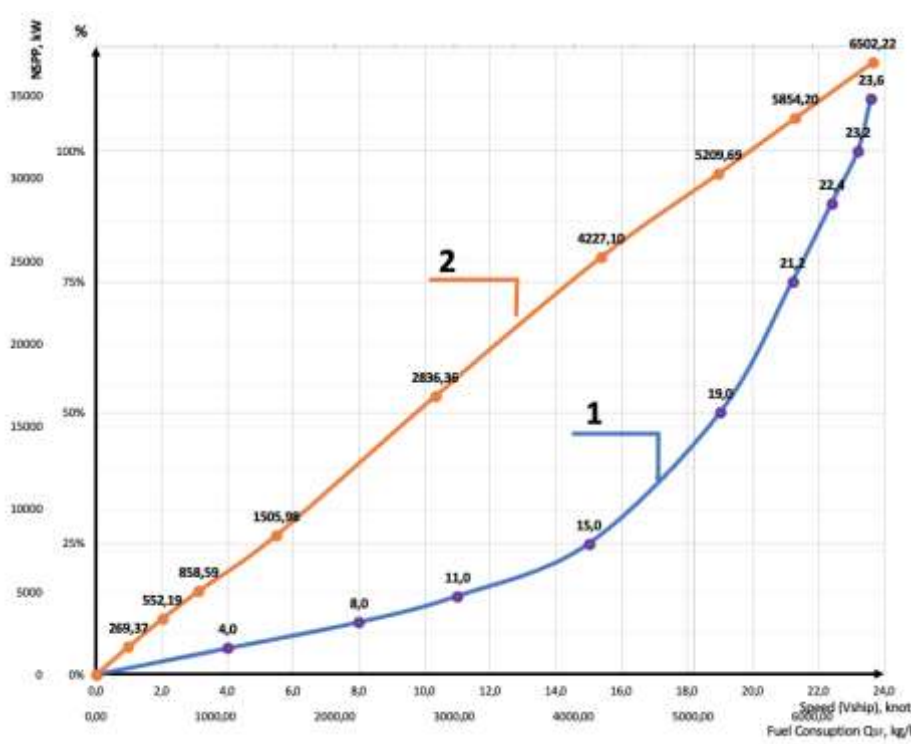


Рис.1. Изменение V_s (линия 1) и КУВН (линия 2) от мощности на коленчатом валу SPP

На основании проведенных исследований нами установлено, что пройденный путь практически не влияет на ЕЕОИ (рис.2).

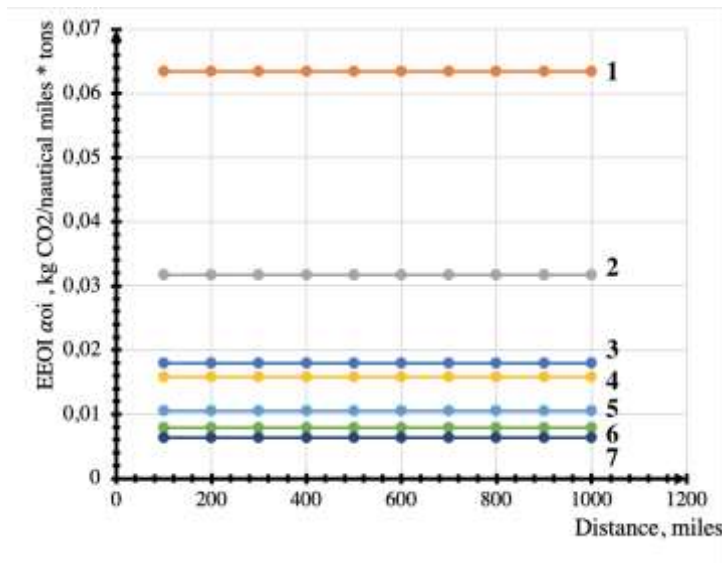


Рис.2. Изменение ЕЕОИ от пройденного пути при V_s судна 14,8 узлов и G_c, т.: 1 – 5 000 , 2 – 10 000 , 4 – 20 000 , 5 – 30 000 , 6 – 40 000 и 7 – 50 000, соответственно. Линия 3 – EEDI.

Зависимость ЕЕОИ от G_c описывается гиперболами (рис.3 и рис.4).

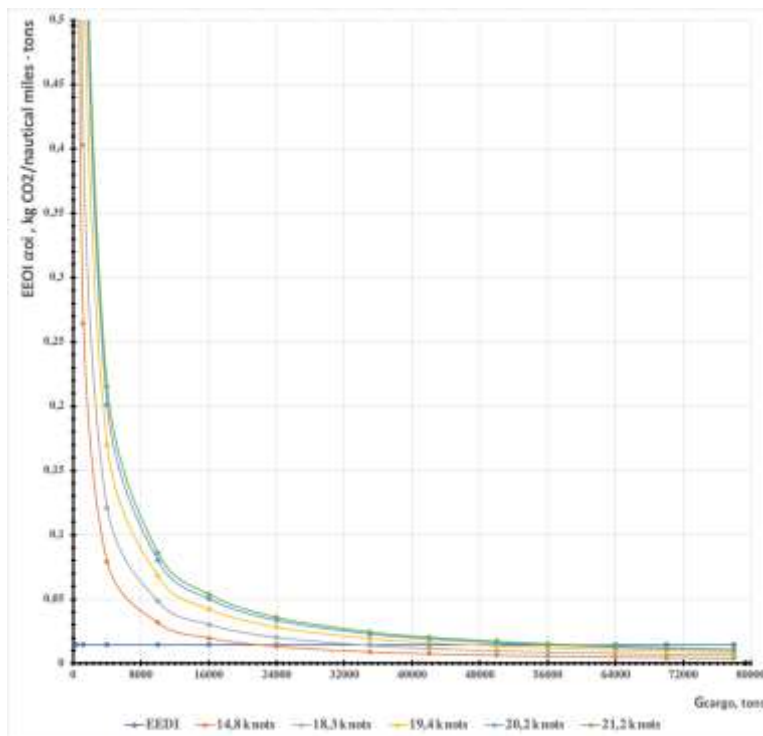


Рис.3. Изменение ЕЕОИ от G_c при V_s 14,8 уз., 18,3 уз., 19,4 уз., 20,2 уз., 21,2 уз. Гиперболы соответственно расположены снизу вверх

(прямая линия – EEDI)

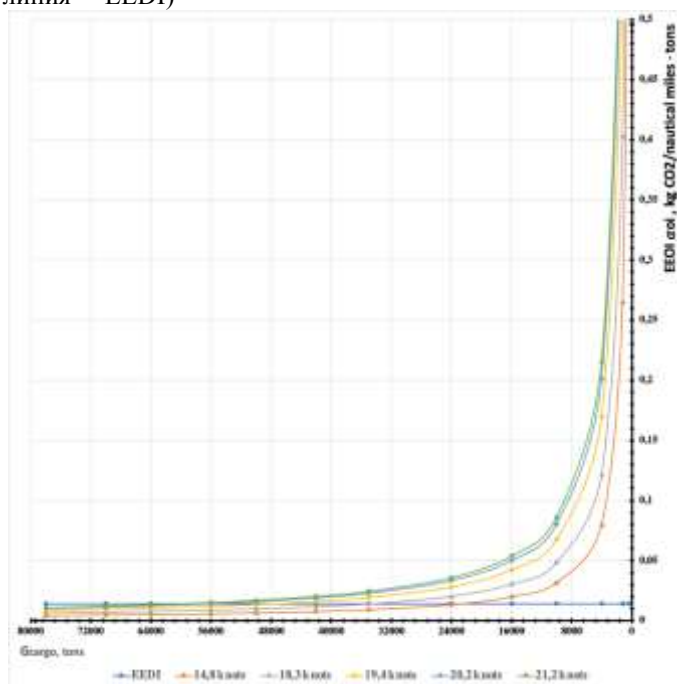


Рис.4. Изменение EEOI от G_c при V_s 14,8 уз., 18,3 уз., 19,4 уз., 20,2 уз., 21,2 уз. Гиперболы соответственно расположены снизу вверх (прямая линия – EEDI)

Зависимость EEOI от V_s описывается сложной зависимостью с максимумом при 4,5 узлах и минимумом при 8,0 узлах (рис. 5).

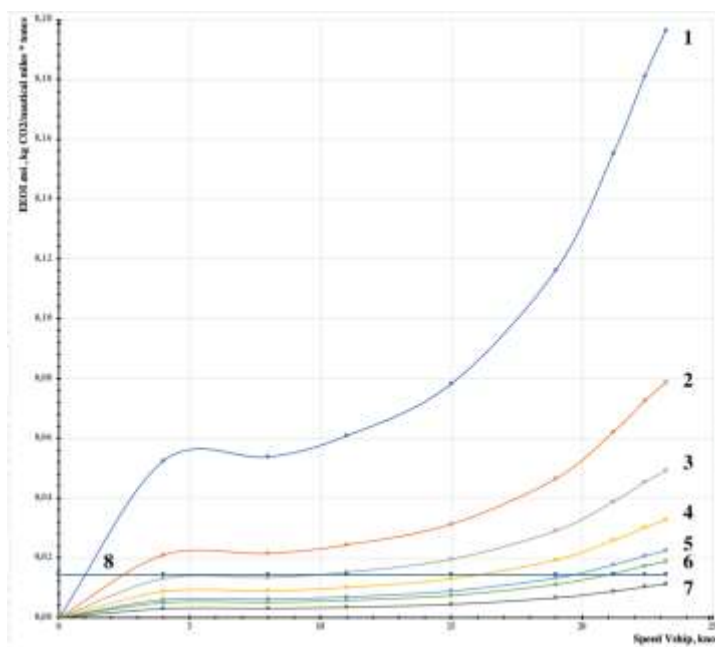


Рис.5. Изменение EEOI от V_s при пройденном пути 500 морских миль G_c , т.: 1 – 4,000 , 2 – 10000 , 3 – 16000 , 4 – 24000 , 5 – 35000 , 6 – 42000 , 7 – 70000 . Линия 8 – EEDI.

Зависимости ЕЕОІ от V_s и G_c приведены на рисунках 6 и рис. 7. На рисунке 6 G_c увеличивалась от 0 до 80000 т. по оси абсцисс, а на рисунке 7 по оси абсцисс G_c уменьшалась от 80000 т до нуля.

Широкий диапазон скоростей – от 0,01 уз. до 24,0 уз учитывался для анализа характерной зависимости ЕЕОІ от V_s , оставляя при этом пройденный путь и G_c постоянными.

При увеличении V_s от 0,01 уз. до 24,0 уз. были определены IV зоны (рис.5).

Зависимость ЕЕОІ от G_c при постоянных значениях V_s и пройденного пути перехода описана гиперболами (рис.6 и рис.7). При максимальных G_c (60 000 т и более) значения ЕЕОІ стремятся к ЕЕДІ, а при приближающихся к нулю значениях G_c – к бесконечности.

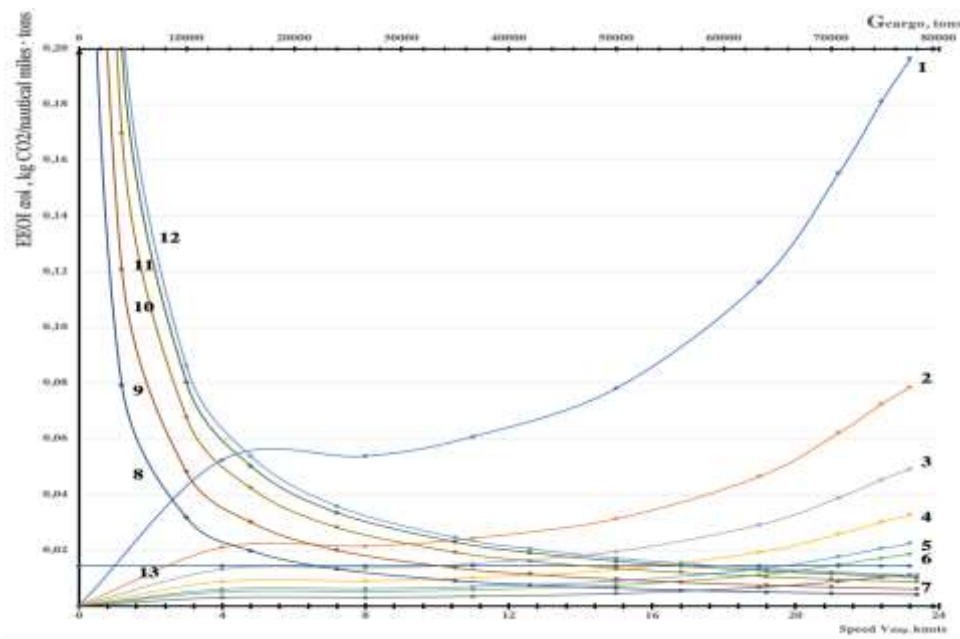


Рис.6. Изменение ЕЕОІ от V_s (кривые 1 – 4000 т, 2 – 10000 т, 3 – 16000 т, 4 – 24000 т, 5 – 35000 т, 6 – 42000 т, 7 – 70000 т) и G_c (8 – 14,8 уз., 9 – 18,3 уз., 10 – 19,4 уз., 11 – 20,2 уз., 12 – 21,2 уз), линия 13 – ЕЕДІ

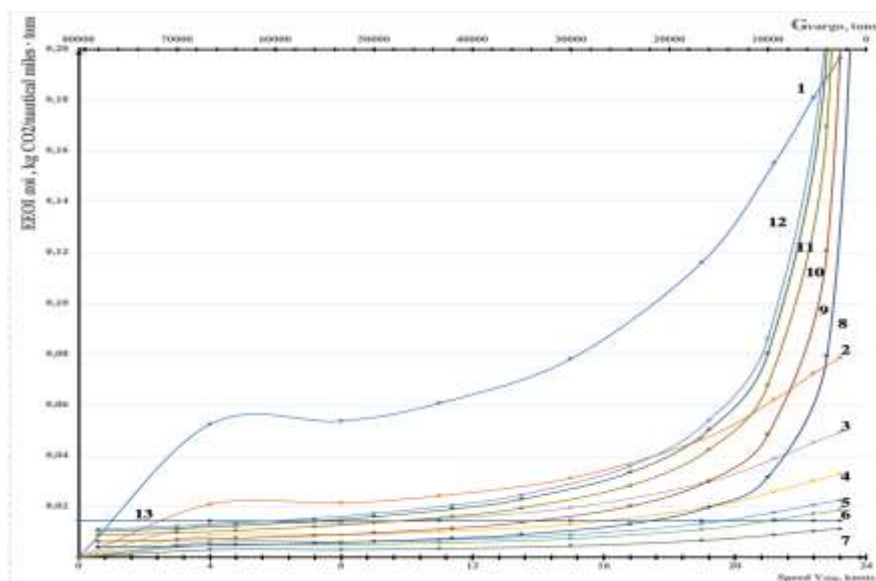


Рис.7. Изменение EEOI от V_s (кривые 1 – 4000 т, 2 – 10000 т, 3 – 16000 т, 4 – 24000 т, 5 – 35000 т, 6 – 42000 т, 7 – 70000 т) и G_c (8 – 14,8 уз., 9 – 18,3 уз., 10 – 19,4 уз., 11 – 20,2 уз., 12 – 21,2 уз), линия 13 – EEOI

На основании вышеприведенных исследований была проведена оптимизация эффективности судна / рейса при совокупном изменении V_s и G_c (рис.8).

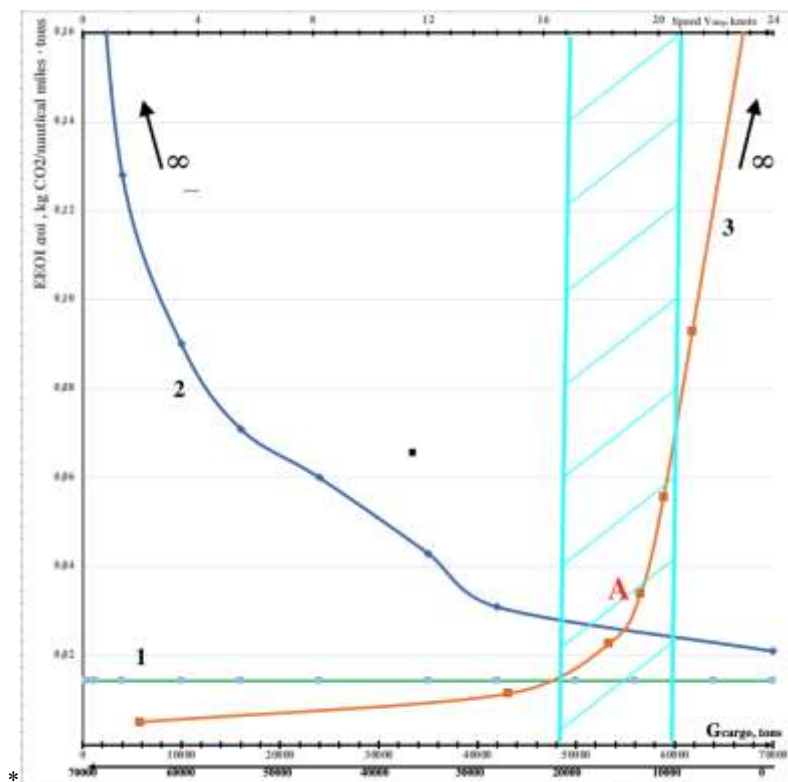


Рис.8. Область минимизации EEOI (заштрихованная область А)

Обсуждение полученных результатов

Точка пересечения А линий 2 и 3, приведенных на рисунке 8, характеризует собой минимальное значение ЕЕОІ судна/рейса и, соответственно, минимальный КУВН G_{min} , мт, и минимальную эмиссию диоксида углерода- $3,114 \times G_{min}$, мт.

Согласно методике, приведенной в работе [13], определена зона минимизации ЕЕОІ – зона А. В результате анализа и обобщения экспериментальных данных можно сделать следующий вывод: минимальная область значений эмиссии CO_2 ЕЕОІ достигается при V_s в пределах 16,2-22,4 узлов, G_c груза 48 000-60 000 мт, пройденный путь не лимитируется.

Морской транспорт, как составная доля техногенных систем, приводит к негативным последствиям, таким как:

- дефицит природного O_2 , содержащегося в атмосферном воздухе;
- исчерпывание невозобновимого сырья;
- снижение издержек на осуществление логистических маршрутов;
- интенсивное загрязнение и разрушение морских экосистем;
- интенсивное негативное изменение климата на планете.

Не так давно была опубликована работа [14], в которой впервые было предложено использовать синтетический O_2 на судне в качестве окислителя углеводородного носителя вместо атмосферного воздуха, что благоприятно способствует снижению КУВН и выбросов CO_2 .

Показано, что в случае использования O_2 вместо воздуха, КПД совершенной работы увеличивается на 25%, составляя при этом 50%, в то время, как на воздухе максимальные показатели, которых можно добиться, составляют только 25%. То есть вклад в КПД SPP увеличивается в два раза. Также полностью исключается эмиссия оксидов азота с отработанными газами SPP.

Задача, заложенная в предлагаемом нами новом техническом решении есть следующей:

- замена воздуха, применяемого во всех окислительных процессах, в частности, в судовых энергетических установках, на синтетический O_2 ;
- создание новой технологии получения синтетического O_2 из CO_2 и H_2O .

Авторы данного способа нацелены на использование H_2O и / или CO_2 в качестве первоначального сырья для получения O_2 [14].

Заключение

Ключевая задача данного исследования, целью которого было определение области наименьших значений выбросов CO_2 ЕЕОІ во время реального морского перехода от основных параметров (V_s , G_c и пройденного пути) — решена. Мы считаем, что области и направления, в которых могут проводиться главные последующие исследования, являются следующие:

- 1) расширение спектра типов судов и морских переходов с последующим их исследованием;
- 2) анализ гидрометеорологических условий, которые могут влиять на изменение ЕЕОІ;
- 3) технико-экономические обоснования, касающиеся создания многопрофильных / многоцелевых судов;
- 4) полная замена атмосферного воздуха на синтетический O_2 ;
- 5) создание принципиально новых научных направлений получения синтетического O_2 с использованием сырья с большой кратностью запаса.

Список литературы:

1. Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency Operational indicator (EEOI). — London: IMO, 2009. — 75 p.
2. MEPC 65/INF.17 IMO Model Course on Energy-Efficient Operation of Ships. — London: World Maritime University, 2013. — 61 p.
3. *Пивоваров Л. А.* Разработка плана управления энергоэффективностью судна (ПУЭЭС) для танкеров / Л. А. Пивоваров // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Современные информационные и инновационные технологии на транспорте». — MINTT–2013. — Херсон: ИЦ ХГМА, 2013. — Т. 1. — С. 73–77.
4. Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP): SEEMP template for owners and operators. — London: Lloyd’s Register, 2012. — 12 p.
5. *Rehmatulla N.* The Implementation of Technical Energy Efficiency and CO2 Emission Reduction Measures in Shipping / N. Rehmatulla, J. Calleya, T. Smith // *Ocean Engineering*. — 2017. — Vol. 139. — Pp. 184–197. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.04.029.
6. *Winnes H.* Reducing GHG emissions from ships in port areas / H. Winnes, L. Styhre, E. Fridell // *Research in Transportation Business & Management*. — 2015. — Vol. 17. — Pp. 73–82. DOI: 10.1016/j.rtbm.2015.10.008.
7. MARPOL Consolidated edition 2011: Articles, Protocols, Annexes and Unified Interpretations of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as modified by the 1978 and 1997 Protocols. — London: CPI Group (UK) Ltd, 2011. — 448 p.
8. Иванченко А.А., Петров А.П., Г. Е. Живлюк Г.Е., ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУДОВ И РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ. // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 111. — № 3. — С. 103–112. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-103-112.
9. Покусаев М. Н., В. Г. Букин В. Г. , Абачараев И. М. , Ермолаев В. П. ВЛИЯНИЕ ВИДА СУДОВОГО ТОПЛИВА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ТАНКЕРА-ГАЗОВОЗА. Астрахань: Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. 2019. № 1, с. 78-88. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-1-78-88.
10. *Леонов В. Е.* Исследование влияния параметров морского перехода на операционный коэффициент энергетической эффективности судна / В. Е. Леонов, В. В. Тимошенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 390–401. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-390-401.
11. *Zhmur V. N.* Ways to increase economic energy efficiency and environmental safety of sea freight / V. N. Zhmur, V. Ye. Leonov // *American Scientific Journal*. — 2018. — Vol. 19. — Pp. 15–21.
12. *Леонов В. Е.* Пути повышения эффективности морских грузоперевозок: монография / В. Е. Леонов, В. И. Дмитриев. — М.: Моркнига, 2019. — 299 с.
13. *Леонов В.Е.* Исследования по определению области минимизации операционного коэффициента энергетической эффективности судна / В. Е. Леонов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 910-919. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-910-919
14. *Леонов В. Е.* Использование кислорода в качестве окислителя судового топлива вместо воздуха для судовых энергетических установок / В. Е. Леонов, А. А. Гуров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — No 3. — С. 583–590. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-583-590.

**RESEARCH ON EEOI PARAMETRIC CONNECTION OF A SHIP
DURING THE REAL VOYAGE CONDUCTION**

Valeriy Ye. Leonov

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5590-8807>

Oleksandr D. Serdyuk

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5122-1821>

Abstract. The round-the-world transition of m/v Katherine ship is considered. The aim of this work is to minimize the Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) of the vessel, and, accordingly, to minimize the ship's fuel consumption and carbon dioxide emission depending on the parameters of sea transition: V_s , mass of transported cargo, and the distance of the passage. For specifically selected ship power plant (SPP), the parametric dependence of V_s and fuel consumption on the share of used power is determined by calculation method. The Energy Efficiency Design Index (EEDI) is determined by the model given in Resolution MEPC.212(63). The EEOI is determined depending on the ship fuel consumption, the carbon concentration in the ship's fuel with the main parameters accepted for transition V_s , transported cargo mass, the sea passage distance. Calculation studies are conducted in a wide range of sea transition parameters – transition distance within 200 to 2,800 nm, the V_s from 0.01 to 24.0 knots, cargo mass ranging within 4,000 to 70,000 tons.

The work defines the area of minimization for values EEOI, that is maximally approaching to the ship's EEDI, depending on changing sea transition parameters.

It has been determined that the EEOI has four zones depending on V_s . The dependence of the EEOI on the cargo mass at the constant values of V_s and the sea passage distance can be described by hyperbola. At the transported cargo mass within the range of 60,000-70,000 t the EEOI value tends to the value of EEDI, and at the values of the cargo mass approaching zero - to infinity. The sea passage distance does not affect the EEOI value.

An important component of these studies is the issue of the atmospheric air complete replacement by the synthetic oxygen, which will lead to a significant reduction in marine fuel consumption and, consequently, a reduction in carbon dioxide emissions, and the non-ballast sea passages organization.

Keywords: Energy Efficiency Design Index, Energy Efficiency Operational Indicator, type of vessel, sea passage, speed, mass, distance, minimization, consumption, emission, marine fuel

References:

1. Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency Operational indicator (EEOI). London: IMO, 2009.
2. MEPC 65/INF.17 IMO Model Course on Energy-Efficient Operation of Ships. London: World Maritime University, 2013.
3. Pivovarov, L. A. "Razrabotka plana upravleniya energoeffektivnost'yu sudna (PUEES) dlya tankerov." Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye informatsionnye i innovatsionnye tekhnologii na transporte» — MINTT-2013. Vol. 1. Kherson: ITs KhGMA, 2013. 73–77.
4. Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP): SEEMP template for owners and operators. London: Lloyd's Register, 2012.
5. Rehmatulla, Nishatabbas, John Calleya, and Tristan Smith. "The implementation of technical energy efficiency and CO2 emission reduction measures in shipping." *Ocean Engineering* 139 (2017): 184–197. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.04.029.
6. Winnes, Hulda, Linda Styhre, and Erik Fridell. "Reducing GHG emissions from ships in port areas." *Research in Transportation Business & Management* 17 (2015): 73–82. DOI: 10.1016/j.rtbm.2015.10.008.
7. MARPOL Consolidated edition 2011: Articles, Protocols, Annexes and Unified Interpretations of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 as modified by the 1978 and 1997 Protocols. London: CPI Group (UK) Ltd, 2011.
8. Ivanchenko A. A. "Energy efficiency of ships and regulation of greenhouse gas emissions." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3.31(2015): 103-112. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-3-103-112
9. Pokusaev M. N., Bukin V. G., Abacharaev I. M., Ermolaev V. P. Influence of fuel type on energy efficiency of a gas carrier power plant. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;1:78-88. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-1-78-88.
10. Leonov, Valery Ye., and Vladislav V. Timoshenko. "Investigation of the impact of marine transition parameters on the operational coefficient of energy efficiency of the ship." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.2 (2018): 390–401. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-390-401.

11. Zhmur, V. N., and V. Ye. Leonov. "Ways to increase economic energy efficiency and environmental safety of sea freight." *American Scientific Journal* 19 (2018): 15–21.
12. Leonov, V. E., and V. I. Dmitriev. *Puti povysheniya effektivnosti morskikh gruzoperevozok. Monografiya*. M.: MORKNIGA, 2019.
13. Leonov, Valeriy Ye. "Research to determine the minimization area of the operational coefficient of the energy efficiency of the ship." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.5 (2019): 910–919. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-910-919.
14. Leonov, Valeriy Ye., and Anatolii A. Gurov. "Using oxygen instead of air as an oxidizer of marine fuel for ship power plants." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.3 (2020): 583–590. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-583-590.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Леонов Валерий Евгеньевич – доктор технических наук, профессор
Херсонская государственная морская академия, 73000, Херсон, Украина, проспект Ушакова, 20, e-mail: leonov_v_e@i.ua

Valeriy Ye. Leonov – Dr. of Technical Sciences, professor
Kherson State Maritime Academy, 73000, Kherson, Ukraine, Ushakova avenue, 20

Сердюк Александр Дмитриевич – магистр по специальности «Судовождение», морской и речной транспорт
Херсонская государственная морская академия, 73000, Херсон, Украина, проспект Ушакова, 20, e-mail: alexanderserdyuk@ukr.net

Oleksandr D. Serdyuk – Master's Degree in Navigation, River and Marine Transport
Kherson State Maritime Academy, 73000, Kherson, Ukraine, Ushakova avenue, 20

Статья поступила в редакцию 30.10.2020 г.

УДК 656.078

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.134>

ЭФФЕКТИВНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СУХИХ И МОРСКИХ ПОРТОВ КАК ФАКТОР КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ НА ТРАНСПОРТНОМ РЫНКЕ

В.В. Троилин

*Ростовский государственный экономический университет (РИНХ),
г. Ростов-на-Дону, Россия*

И.А. Арустамов

*Ростовский государственный экономический университет (РИНХ),
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. Современные формы хозяйствования на транспортном рынке, такие как сухие порты, требуют новых подходов к обеспечению их взаимодействия с морскими портами, что в конечном результате повлияет на межпортовую конкуренцию последних. Проблема, рассматриваемая в данном исследовании, обусловлена отсутствием четкого понимания характеристик этих отношений и факторов, влияющих на них. В работе определены эти характеристики, исследованы особенности взаимоотношений между менеджерами портов, и на основе системного эмпирического подхода полученные данные классифицированы с использованием модели оценки деловых отношений. Предложена комбинированная комплексная модель, которая может быть использована для совершенствования взаимодействия сухих и морских портов, которое повлияет на конкурентную среду между морскими портами.

Ключевые слова: Сухие порты, морские порты, транспортный рынок, конкурентные преимущества

Введение

Глобализация мировой экономики, интернационализация производства, международное разделение труда, развитие технологий во всех сферах производства привели к росту торговли (рис.1) Эти тенденции оказали значительное влияние на транспортную индустрию и глобальные транспортные системы. Кроме того, внедрение и массовое использование контейнеров вкупе с использованием мультимодальных технологий способствовало быстрому росту мировой экономики.

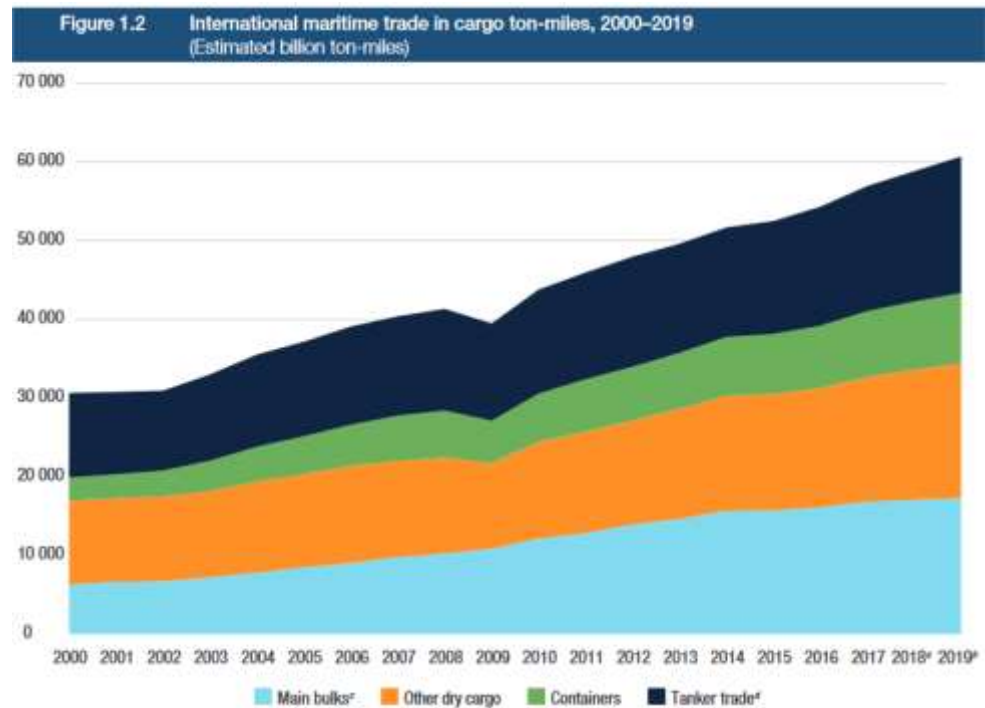


Рис. 1. Международная морская торговля (в т/миль)[1]

В настоящий период рынки становятся глобальными. Географические и технологические барьеры уже практически отсутствуют, а морской транспорт играет важную роль в этом процессе, так как считается не только самым дешевым, но и высокотехнологичным, тем самым способствуя уменьшению цены в производственных процессах и обеспечивая при этом около 80% общего объема мировой торговли [1].

Морские порты, наряду с другими участниками транспортных коммуникаций, играют важную роль в доставке грузов, соответственно, деятельность портов напрямую связана с производством и потреблением товаров и, приобретая все более значимое место в транспортных системах, часто являются их входными/выходными точками.

Исторически сложилось, что тесная взаимосвязка портовой отрасли и индустрии судоходства требует их слаженной работы, что обеспечивает при этом поступательное движение экономики в целом. Эти достижения определяются современной гибкой организацией совместной работы портов и судоходных компаний, интегрируя их деятельность с сухопутными видами транспорта, доставляющими грузы в порты. В этой связи специализация портов по отдельным видам грузов и направлениям перевозок считается наиболее целесообразной для достижения положительных результатов расширения их провозной и пропускной способности. Вместе с тем, контейнерные терминалы (как и перевозки) приобретают все более важное значение. Так, в 2018 году морскими портами в мире обработано 793 млн. TEU, тогда как в РФ – около 1% мирового объема [1]. Согласно Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года переработку грузов в контейнерах планируется увеличить на 30%, и их объем составит 150 млн. т. [2]

Основной причиной использования контейнерных технологических систем является скорость прохождения контейнерных грузов. Контейнеризация стала основным вектором производства, распределения и потребления, а контейнерные терминалы становятся стратегическими участниками товарообмена, облегчающими торговую деятельность, обеспечивая эффективное функционирование международных транс-

портных коридоров и создавая экономический рост государств, участвующих в логистических цепях.

Современные контейнерные терминалы, взаимодействующие с морскими портами, обеспечивают экономико-эксплуатационную эффективность, качественные транспортно-логистические услуги, сохранность грузов, способствуют уменьшению различных рисков, связанных с доставкой товаров (грузов), и создают конкурентные преимущества морского транспорта, а морские порты в этой связи, являясь важными транспортными узлами, обеспечивают международные, транзитные, внутренние перевозки и ряде случаев становятся точками роста обслуживаемых территорий.

Инфраструктура порта стала стремительно развиваться после окончания Второй мировой войны, обеспечивая развивающиеся экономики в послевоенный период [3]. К тому же, развитие автомобильного транспорта, в том числе - увеличение его грузоподъемности, позволило быстро доставлять укрупненные партии грузов внутри континентов и экономически развивать обслуживаемые территории. А обработка (перевалка) грузов в контейнерных терминалах ускоряла их доставку из глубинных континентальных территорий к портам, которые становились их форпостами, тем самым позволяя обрабатывать большее количество грузов и вступать в конкурентную борьбу с иными портами, расположенными на береговой черте и даже в другом морском бассейне [4].

Обсуждение проблемы

Внутренние контейнерные терминалы могут рассматриваться как позитивный фактор для экономического развития региона, на территории которого они расположены. Их присутствие приводит к повышению производительности труда, эффективности и увеличению рынка как производственных, так и транспортных услуг. Именно поэтому конкурентная среда и конкурентная стратегия рассматриваются как основополагающие принципы в сфере управления контейнерными терминалами. Конкурентоспособность терминала обычно оценивается судоходными компаниями (линиями) и основывается на таких факторах как: время ожидания постановки к причалу, скорость грузовых операций, наличие высокоэффективного погрузо/разгрузочного оборудования, контейнеровместимость грузовых складов, наличие информационных и коммуникационных технологий, поддерживающих грузовые операции и иные услуги, обеспечивающие быстрое «бесшовное» прохождение грузов. Эти факторы требуют от портов поиска резервов в виде внутренних терминалов, имеющих выгодное расположение и хорошее обслуживание различными видами транспорта.

Одной из дефиниций, которая использовалась нами как равновидовая и обобщающая, характеризующая внутренние терминалы, является «сухой порт» [5]. Сухие порты играют важную роль в увеличении пропускной способности морских портов контейнерных и других генеральных грузов. Они разрабатывают стратегические взаимоотношения с морскими портами, ведущими производителями товаров и провайдерами логистических услуг, а также судоходными компаниями, обеспечивающими линейные перевозки [6]. Это взаимодействие оказывает большое влияние на конкурентную среду, в которой функционируют морские порты, привлекая на более выгодных условиях продавцов и покупателей, перевозящих свои товары (грузы). Соответственно, изучение форм взаимодействия между сухими и морскими портами и их моделей требует значительного внимания, так как они в конечном результате будут влиять на пропускную способность всей транспортной сети.

Основными потребителями транспортных услуг, оказываемых морскими портами со стороны моря, являются судоходные компании, а со стороны суши – экспортно-импортные компании, производящие или перераспределяющие товары, экспедиторы, транспортные компании различных видов транспорта. На их совместную деятельность оказывает влияние интернационализация перевозок и логистическая деятель-

ность. Эти тенденции требуют современных инновационных форм организации функционирования морских портов и их взаимодействия с сухими портами.

Внедрение новых форм взаимодействия потребовало создания дополнительных транспортно-логистических услуг, но, к сожалению, не все участники транспортной системы стали предоставлять более широкий спектр таких услуг, таких как: консолидация судовых партий, экспедирование, упаковка, маркировка, таможенные и маркетинговые, а также незначительные формы индивидуализации продукции для внутренних рынков.

Многочисленные исследования свидетельствуют, что сухие порты не только способствуют интеграции транспортных систем во всем мире, но и увеличивают возможности пропускной способности морских портов и как следствие – их конкурентные возможности [7]. Соответственно, возникает потребность в пересмотре традиционных представлений об их взаимодействии, в том числе, с хитерлендом, прибрежной зоной и внутренними рынками, что будет способствовать повышению их роли в цепях поставок через интеграцию с удаленными местами производства и потребления. В связи с тем, что сухие и морские порты являются поставщиками грузов и услуг друг для друга, то между ними должны быть формальные отношения, но могут быть и неформальные, которые возникают при любой совместной деятельности и требуют более тщательного изучения. К тому же, теория управления цепями поставок предполагает, что отношения между двумя интегрированными отраслями, как правило, характеризуются взаимностью, сотрудничеством, кооперацией, межличностными отношениями, взаимным доверием, но и конфликтами. Тем не менее, они все влияют на качество оказываемых услуг морскими портами не только одного бассейна, но и разных, которые могут оказаться в лучшем или худшем положении. И как следствие – государственные органы и частные инвесторы, наблюдая успехи порта в грузовой работе, будут способствовать привлечению инвестиций в его развитие. Соответственно, межпортовая конкуренция является одной из форм конкуренции как таковой и становится важнейшим фактором, воздействующим как прямо, так и косвенно на увеличение пропускной и провозной способности объектов транспорта и способствующим развитию мировой торговли.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что взаимоотношения между сухими и морскими портами в конечном результате влияют на межпортовую конкуренцию последних.

Однако, ввиду отсутствия четкого понимания характеристик таких отношений и иных факторов, влияющих на них, нами была предпринята попытка определения этих характеристик и создания дополнительных для прояснения влияния отношений между двумя хозяйствующими субъектами на их конкурентное поведение. Для этого были применены качественные методы исследования, которые являются мощным источником обоснованной теории, то есть теории, вытекающей из наблюдений и исследований в реальном мире. В этом контексте, наблюдение и анализ, сделанные в исследовании на основе системного эмпирического подхода, проводится в реальных условиях функционирования портов с учетом опыта взаимодействия сухих и морских портов и их менеджеров. Этот подход соотносится с практическими данными и значениями, характерными для различных исследователей, которые будут систематизированы и классифицированы на основе академической модели для оценки отношений. В этой модели морские порты рассматриваются и анализируются как клиенты сухих портов, которым отводится основная (фокусная) роль поставщика транспортных услуг в транспортных системах. Такая модель может быть использована для оценки деловых отношений для руководства по сбору данных. Также она может быть использована для исследования конкурентной среды между морскими портами.

Необходимо отметить, что при изучении отдельных вопросов возможны логические предположения и выводы для контекстуализации полученных результатов. При

сборе данных целесообразно придерживаться триангуляционного подхода, который определяется как комбинация двух или более источников информации в рамках одного исследования. Использование различных источников данных нужны для того, чтобы дать (получить) многомерное видение проблемы или явления, а также обеспечить получение достоверных и объективных данных, которые могут быть интерпретированы с достаточной степенью достоверности. Соответственно, использование сгруппированных трех массивов данных, таких как: интервью, наблюдение и формальные данные, обеспечит достоверность исследования.

Как отмечалось ранее, модель процесса оценки деловых отношений основывается на сборе информации. Эта модель (RAP) была разработана в конце прошлого века и развивает понимание взаимоотношений, базирующихся на одиночном и совместном опыте двухсторонних отношений [8]. Значительный интерес в развитии этой модели представляют работы отечественных исследователей проф. Иващенко Н.С. и Гаврилова И.А. по оценке уровня партнерских связей как одного из факторов конкурентоспособности организации [9].

Этот набор характеристик деловых отношений целесообразно использовать при оценке взаимодействия между сухими и морскими портами, так как они являются поставщиками услуг друг для друга. Оценка должна быть сделана с точки зрения оптимизации транспортной работы между ними и взаимодействия между менеджерами обоих портов. Для этого в контексте исследования необходимо оценить влияние взаимоотношений между сухими и морскими портами на основании данных, полученных в ходе интервьюирования менеджеров-практиков и ученых транспортной отрасли для чего нужно разработать соответствующие вопросы. Выбор компаний и организаций, осуществляющих транспортные услуги, можно осуществить на сайтах морских и сухих портов, а также через Ассоциацию морских портов РФ и ФГУП «Росморпорт». Опросник целесообразно составлять не более чем с 20-ю вопросами, связанными с деловыми отношениями между портами, учитывая при этом конкуренцию отдельных терминалов портов.

Существенное влияние на взаимодействие оказывает географическое расположение портов относительно друг друга, в том числе начало и окончание грузопотоков. По нашему мнению, менеджмент портов-конкурентов не всегда осведомлен о состоянии дел экономики региона и не использует разработки ученых-экономистов, составляющих транспортно-экономические балансы морских бассейнов, хотя конкуренция может быть и между портами разных бассейнов.

Исследование также должно базироваться на актуальных статистических и аналитических данных, полученных из различных источников, учитывая перспективные планы грузопереработки, разрабатываемые государством с учетом национальных программ. Инструментарий и результаты сбора и анализа данных должны продемонстрировать согласованность не только среди опрашиваемых, но и с теоретическими научными выводами и формальными данными по грузоперевозкам. Данный анализ был проведен нами в работе «Транспортно-экономические предпосылки создания и функционирования сухих портов в РФ» [10]. Достоверность и надежность исследования обеспечивается использованием бизнес-модели RAP. Именно ее усовершенствованные варианты целесообразно использовать для сбора данных и проведения анализа. В контексте данного исследования было бы уместно рассмотреть явление конкуренции применительно к портовой отрасли, так как она в этой сфере имеет свои специфические особенности, виды и механизмы.

Исторически сложилось, что понятие «конкуренция» в основном рассматривалось с социальной точки зрения как соперничество. Экономическая теория 50-х годов прошлого века стала использовать это понятие как более рыночно ориентированное, и эта точка зрения была принята учеными всего мира. Однако в то же время в советской экономической науке в условиях планового ведения хозяйствования этот термин имел

другое значение, используемое как «социалистическое соревнование», что могло в полной мере применяться к портам СССР и странам СЭВ социалистической ориентации. Например, на Черном море – с портами Болгарии, тогда как с портами Турции была бы классическая конкуренция. Эта категория «конкуренция» разносторонне исследовалась учеными [11], а государство в своем законе 135-ФЗ от 26.07.2006 г. «О защите конкуренции» в ст. 4 формализовало это понятие как «...соперничество хозяйствующих субъектов, при котором самостоятельными действиями каждого из них исключается или ограничивается возможность каждого из них в одностороннем порядке воздействовать на общие условия обращения товаров на соответствующем товарном рынке». Вместе с тем, опираясь на различные экономические и правовые подходы, можно предположить, что конкуренция является адекватным и предпочтительным рыночным инструментом для адаптации хозяйствующих субъектов к изменяющимся экономическим условиям. Соответственно, базируясь на этой концепции, и принимая во внимание и учитывая постоянно меняющуюся экономическую среду, в которой функционирует транспортная система, мы полагаем, что конкуренция должна рассматриваться не только в качестве поведенческой активности, которая возникает ввиду соперничества между людьми для получения личной выгоды через увеличение прибыли компании, где работает менеджер, но также как поведение хозяйствующего субъекта (порта, терминала) в условиях рыночной среды, где он функционирует. Но, анализируя конкуренцию портовой отрасли, которая находится под влиянием как конкурентов, так и процессов, происходящих в различных отраслях промышленности, поставляющих грузы в порты и иных факторов, мы понимаем, что это достаточно сложный процесс, так как, независимо от страны, локального или мирового рынка с его деловой активностью, а также различий, имеющих между фирмами, участвующими в родственном бизнесе, включающим в себя размеры, культуру, особенности организации, производственные и финансовые возможности, транспортную инфраструктуру, деловую репутацию и опыт работы как в данной сфере грузоперевозок, так и по перевалке отдельных видов грузов все эти функции могут быть применены и идентифицированы через общую конкурентоспособность. Эти функции имеют важное значение в иллюстрировании конкуренции. С одной стороны, в связи с тем, что стимуляция и отбор обеспечивают экономические преимущества и гарантии не только для потребителей произведенной/проданной продукции, но и индустрии в целом, с другой - такие особенности являются важными, так как связаны с эффективностью и оптимальностью. Эти два элемента охватывают большинство экономических мотиваций хозяйствующих субъектов, таких как: сухие и морские порты, влияя на их поведение в деловых отношениях.

В экономической теории «эффективность» определяется как «максимально выгодное соотношение между совокупными затратами и экономическими результатами» [12], а «оптимальность» - как лучший возможный результат в пределах данного набора обстоятельств. Тем не менее, они могли бы объяснить поведение хозяйствующих субъектов морской портовой отрасли, в том числе и в свете конкуренции, а анализ оптимальности может служить относительно хорошим индикатором экономического поведения и обеспечить достаточно хорошее объяснение реальных экономических решений и действий. В этой связи заслуживает внимание работа ученых С-Петербургского государственного университета Абакарова А.Ш. и Сушкова Ю.А. «Статистическое исследование одного алгоритма глобальной оптимизации», в которой исследуется взаимозависимость эффективности и оптимальности, а результат исследования можно применять к нашей исследуемой проблеме, так как морские коммуникации, в общем случае, относятся к глобальным трафикам [13].

Научные исследования в сфере функционирования сухих портов свидетельствуют, что эффективность функционирования морских портов во многом зависит от оптимальных значений их экономического взаимодействия с иными видами транспорта,

обеспечивая конкурентоспособность на транспортном рынке и влияя на развитие всех отраслей промышленности, использующих их услуги, что позволяет создавать интегрированные транспортные системы, добиваясь при этом синергетического эффекта.

Структура рынка портовой отрасли обусловлена множеством факторов, в том числе: международно-экономическими, [14] и локально экономическими [15]. Они характеризуются ситуацией, когда порт считается субъектом уровня государственного функционирования и управления, а в ряде случаев, и международного (при преобладающем влиянии иностранного капитала в нем). В связи с этим, межпортовая конкуренция относится к процессу, в котором собственники стремятся поддерживать полный или частичный контроль через отправителей их доли на рынке и хитерленда. Соответственно, можно сделать вывод, что конкуренция относится к разработке и применению дифференцированных стратегических альтернатив по привлечению большего количества отправителей/получателей грузов. Эти аргументы свидетельствуют о влиянии конкурентного поведения морских портов на их менеджеров.

Анализ конкурентной среды морских портов [16] и методы оценки конкурентоспособности морских операторов морских терминалов [17] вызывают несомненный интерес у исследователей. Однако, по нашему мнению, эти характеристики целесообразно разделить на 5 уровней, обеспечивающих общетеоретические подходы, характеризующие межпортовую конкуренцию с интегрированным объединением предметов, объектов и субъектов конкуренции и транспортных рынков:

- конкуренция между терминалами, принадлежащими разным собственникам в одном порту;
- конкуренция между отдельными морскими портами одного бассейна и государства;
- конкуренция между группой портов (портовым кластером), расположенных в непосредственной близости друг от друга с другой группой портов;
- конкуренция между портами, находящимися в одном бассейне, но принадлежащими разным государствам;
- конкуренция между портами одного государства разных бассейнов.

Исследователи и практики в сфере функционирования морского комплекса пришли к выводу, что конкуренция между портами не может быть оценена только лишь по грузообороту. Так, например, операторы контейнерных терминалов не могут конкурировать с операторами наливных и навалочных грузов. Соответственно, конкуренция между портами должна оцениваться лишь с учетом их специализации по видам грузов. Эта классификация является с одной стороны общетеоретической, но с другой стороны – узкоспециальной, учитывающей и определяющей конкуренцию между различными портами и терминалами в отношении отдельных видов грузов и транспортных маршрутов по которым они перевозятся.

Основываясь на вышеизложенном, можно сделать вывод, что на конкуренцию между морскими портами могут оказывать влияние также сухие порты с ними взаимодействующие, причем факторы, влияющие на их взаимодействие и, как следствие – конкуренцию, могут меняться в зависимости от различных уровней, включающих в себя политические, социальные, организационные и производственные аспекты. Тем не менее, конкурентоспособность отдельных предприятий будет определяться, прежде всего, квалификацией персонала, наличием капитала и эффективными технологиями, а также географическим положением, наличием транспортных коммуникаций и инфраструктур, уровнем их технической оснащенности, государственной политикой, пропускной способностью порта, которая имеет решающее значение при взаимодействии сухих и морских портов с учетом частоты заходов судов, стоимостью стивидорных услуг, провозной способностью при взаимодействии с хитерлендом порта.

Этот традиционный подход к межпортовой конкуренции должен (и может) трансформироваться и быть уже частью конкуренции между различными цепями по-

ставок, которая может предложить меньшую сквозную ставку за всю перевозку (доставку) от продавца к покупателю. В результате этого пропускная способность порта выходит за функции лишь обработки грузов и находится в тесной связи со складским комплексом как точка распределения товаров и связи внутренних районов товарораспределения.

Необходимо учитывать ряд общих факторов, влияющих на межпортовую конкуренцию, которые характерны для всего водного транспорта, такие как: способность увеличивать свои производственные мощности, инвестиции в портовые сооружения, обновление оборудования, разработка и внедрение новых транспортных маршрутов, а также совершенствование существующих. Однако будет целесообразным выделить ряд специфических факторов, влияющих на межпортовую конкуренцию с участием сухих портов и объединить их в 5 групп.

1-ая группа характеризует провозную и пропускную способность порта, подразумевающая экспортные и импортные грузы, а также транзитную перевалку;

2-ая группа – техническая и технологическая оснащенность причалов, свидетельствующая о наличии инженерной инфраструктуры позволяющая увеличивать объем перерабатываемых и накапливаемых грузов;

3-ая группа – удобное географическое положение морского порта и хорошая транспортная доступность к сухому порту;

4-ая группа – уровень сервиса оказываемых услуг: чем он выше, тем больше потенциальных заказчиков (клиентов) будет привлечено, что непосредственно будет влиять на увеличение грузооборота;

5-ая группа – стоимость оказываемых услуг, на которые влияют размеры портовых сборов, тарифы на дополнительные услуги и иные платежи в конечном счете определяющие стоимость доставки грузов.

Эти группы факторов должны рассматриваться в тесной взаимосвязи, чтобы идентифицировать закономерности влияния сухого и морского порта на межпортовую конкуренцию и послужить основой для введения новых драйверов развития межпортовой конкуренции и формирования ее новой экономической среды, исходя из философии управления цепями поставок. Они и станут основными направлениями, в этой области, которые необходимо исследовать далее.

Первым драйвером в конкурентной среде между морскими портами будет увеличение конкуренции на мировых фрахтовых рынках. Это потребует необходимость реструктуризации портовых операций для адаптации к реальным условиям мирохозяйственных связей, что и повлияет на выбор портов в пользу владеющих современными транспортными технологиями. Порты, имеющие институциональные модели, разработанные в конце 19 века, начале 20 существенно снижают их конкурентные преимущества, требуя развития до современного уровня [18]. Интегрируясь в международные транспортные коридоры, портовый бизнес должен быть более конкурентоспособным, чем тогда, когда порт управлялся одним собственником.

Вторым важным драйвером развития портовой отрасли является участие частного сектора в создании и развитии транспортной инфраструктуры и оказании портовых услуг. Эта тенденция поддерживается как транснациональными финансовыми институтами, так и государством в форме концессии.

Третьим драйвером развития портовой индустрии является диверсификация и глобализация инвесторов и операторов терминалов. Глобализация судоходства обеспечивает мировой рынок портовых услуг в специализированных областях каждая из которых содержит ряд национальных и международных компаний, обеспечивающих высококачественный специализированный сервис. Они условно разделяются на три группы: глобальные стивидорные компании, финансовые холдинги, действующие в качестве операторов региональных терминалов и судоходные компании, часто объ-

единенные в линейное судоходство и инвестирующие средства в развитие терминалов (сухих портов).

Четвертым драйвером является глобализация морского судоходства, в том числе использование «удобных» флагов под которыми находится около 70% мирового тоннажа [1]. Регистрация судов под такими флагами позволяет судовладельцам оптимизировать налоговые и иные платежи, взимаемые с судов в государствах флага. С другой стороны, морская судоходная отрасль – не просто потребитель услуг портов, а является основным заказчиком, оказывающим большое влияние на межпортовую конкуренцию, отдавая предпочтение тому или иному порту. А контейнеризация перевозок потребовала создания портов-хабов, обеспечивающих погрузку/разгрузку товаров в контейнеры, их таможенную очистку с дальнейшим размещением на транспортных средствах хранения контейнеров, комплектования грузовых партий по направлениям, судам и т.д.

Следующим, пятым драйвером, влияющим на развитие взаимодействия между сухими и морскими портами, является концентрация в «одних руках» судоходного и портового бизнеса, что характерно, например, для контейнерных перевозок. Так, крупнейший контейнерный перевозчик – компания Maersk, имеет свои представительства в 121 стране, обслуживает 343 морских порта и владеет в них 74-мя контейнерными терминалами, в том числе, 3-мя в России [19]. В этом контексте можно ожидать слияния и поглощения глобальными операторами более мелких конкурентов, а консолидация и концентрация в контейнерном секторе перевозок будет способствовать влиянию сухих портов на межпортовую конкуренцию по двум причинам. Первая из них – это оптимизация цены, сроков обработки грузов и, как следствие – уменьшение стоимости судо-захода, вторая – увеличение мощности инфраструктуры морского порта за счет транспортно-экспедиторских возможностей взаимодействующего с ним сухого порта.

Драйверы, рассматриваемые выше, мы можем использовать при исследовании взаимодействия между сухими и морскими портами, которое в конечном результате будет влиять на оценку межпортовой конкуренции. Его можно представить в виде модели, предложенной и описанной с использованием RAP модели оценки деловых отношений.

Выводы и предложения

В современной транспортной бизнес-сфере происходит интенсивное давление с целью повышения эффективности и результативности стратегических усилий, принимаемых в отношении участников транспортной системы. Управление транспортными системами как частью цепей поставок, получивших все более широкое использование, в настоящее время требует глубокой интеграции в глобальные производственные цепи товаров и услуг. Транспортные операторы и правительства, в т.ч. и России [2] осознают их главенствующую роль в эффективном управлении и эксплуатации всех видов транспорта и их инфраструктур, что обеспечивает необходимую координацию и сотрудничество всех участников транспортной цепи. Это в полной мере относится к сухим и морским портам непосредственно связанным друг с другом, к тому же первые расширяют перечень услуг, оказываемых морскими портами. Взаимодействие между сухими и морскими портами осуществляется через формальные и неформальные отношения. Исследования показывают, что эти отношения определяются такими факторами, как: право собственности на портовую инфраструктуру, систему органов управления, организационно-правовую форму, наличие развитых транспортных коммуникации, их пропускной и провозной способностью, развитостью хитерленда. Они и определяют основные параметры среды, где происходит взаимодействие в свете характерных вышеназванных факторов, и, по нашему мнению, являются темой для отдельного исследования [10]. Нами предложена адаптация моде-

ли RAP процесса оценки взаимоотношений, которая может быть использована для идентификации и типизации характерных отношений, возникающих при совместной деятельности сухих и морских портов. Эти отношения исследуются с точки зрения управления транспортными системами и цепями. В контексте взаимодействия «поставщик-покупатель» (потребитель) классическая модель предполагает набор таких характерных отношений как: близость, глубина отношений, реальная власть, преимущество, фактическая и воспринимаемая зависимость, возможность решения проблемных вопросов. Согласно модели эти характеристики определяются двумя группами факторов, одна из которых относится к поставщику, а другая к покупателю (потребителю) услуг. В этих группах факторов в модели имеет место набор влияющих на эти группы отношений, характеристики которых связаны друг с другом конкурентной средой, транспортно-логистическими возможностями, планируемым объемом перевозок, частотой взаимодействия, которые представлены на рис. 2.



Рис. 2 – Модель оценки отношений между партнерами [20]

Модель RAP развивает понимание отношений между двумя субъектами на основе единого объединенного или интегрированного опыта взаимодействия и перспективы его развития, что в контексте данного исследования целесообразно

применять к взаимодействию сухих и морских портов при их совместной деятельности. Данная модель постоянно обновлялась для решения концептуальных ограничений характерных для нее.

При исследовании и классификации отношения нами были введены дополнительные характеристики: сотрудничество, конфликтология, интенсивность, межличностная несогласованность, величина зависимости и доверия. Эти отношения характеризуются в модели стратегическими приоритетами и возможностями заказчика и потребителя услуг. Характеристика этих отношений определяется под влиянием пропускной способности, технологий и возможности сторон транспортной системы и требований, специфической деятельностью и политикой заказчика, что отражено на рис. 3.



Рисунок 3 - Модель оценки отношений между сухими и морскими портами (разработано автором с использованием [21])

В практических реалиях восприятие оценки характеристик взаимоотношений, обусловленных моделью, может отчасти отличаться при анализе взаимоотношений: «сейчас и здесь» между конкретными сторонами, но может быть нивелировано, исходя из поставленных задач, требующих решения.

Для адаптации модели могут быть использованы следующие корреспондирующие понятия и определения, представленные в Таблице.

Таблица

Характеристика корреспондирующих взаимоотношений (разработана авторами)

Характеристика отношений	Определения
Взаимность	Степень, в которой два участника могут демонстрировать свою заинтересованность в благополучии друг друга и как они ищут решение общих проблем
Особенность	Направление, уникальность и приверженность в отношениях по сравнению с другими компаниями или степень: стандартная/адаптированная
Сотрудничество	Степень, в которой две или более структур работают вместе для достижения общей цели
Конфликт	Степень восприятия различий между сторонами вызывающая трения, споры, но также потенциальный творческий подход
Интенсивность	Степень контакта и регулярный обмен между партнерами
Межличностная несогласованность	Степень в которой личные ожидания и индивидуальные интересы влияющие на взаимодействие и степень воспринимаемых изменений во взаимоотношениях и другие подходы к взаимодействию между отдельными лицами и структурами

Власть/зависимость	Степень, в которой личность явно или неявно может получить результаты по воздействию на другое лицо и понудить выполнить его требуемое действие. Зависимость относится к оборотной стороне власти и отсутствие ее в отношениях воспринимается как осознанная необходимость
Доверие	Одна из сторон поддерживает отношения с другой стороной ожидая действий и поведения, отвечающих интересам обеих сторон

Заключение

По нашему мнению, комбинированная адаптированная модель оценки отношений между сухими и морскими портами является комплексной и отражает негативные и позитивные последствия участия их в транспортной системе, позволяет характеризовать отношения между ними и может быть использована в целях совершенствования их совместной деятельности, что будет обеспечивать влияние на конкуренцию между морскими портами и приведет к увеличению их грузооборота и пропускной способности всей транспортной системы государства.

Список литературы:

1. Review of Maritime Transport 2019 UNCTAD/RMT/2019/Corr.1 Sales No. E.19.II.D.20 31January 2020 p . 6
2. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года //Распоряжение Правительства РФ от 22 ноября 2008 года №1734-р.
3. В. В. Попов Развитие и безопасность южных портов России М. : РКонсульт, 2003 - 333 с.
4. Troilin V.V., Arustamova M.I., Arustamov I.A. Impact of Inland Ports on Transport and Economic Balance of Azov-Black Sea Basin of Russia. European Research Studies Journal, Volume XXII, Issue 1 . 2019.
5. Троилин В.В. Транспортно-экономическая характеристика понятия «сухой порт» /И.А. Арустамов/ Управление экономическими системами: электронный научный журнал _ (107) УЭКС, 1/2018 URL: uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=4749
6. Fatimazahra Bentaleb Charif Mabrouki Elalami Semma Dry port development: A Systematic Review December 2015 //Journal of ETA Maritime Science 3(2):Pages 73 – 94
7. Alena Khaslavskaya, Violeta Roso Dry ports: research outcomes, trends, and future implication Published: 21 February 2020 by Springer Science and Business Media LLC in Maritime Economics & Logistics Maritime Economics & Logistics , Volume 22, pp 265-292;
8. Johnsen, Thomas E. & Johnsen, Rhona E. & Lamming, Richard C., 2008. "Supply relationship evaluation:: The relationship assessment process (RAP) and beyond," European Management Journal, Elsevier, vol. 26(4), pages 274-287, August.
9. Гаврилов И.А. Оценка уровня партнерских связей как фактора конкурентоспособности организации/ И. А. Гаврилов, Н. С. Иващенко // Маркетинг в России и за рубежом. – 2009. – N.3. – С. 77-86.
10. Троилин В.В. Транспортно-экономические предпосылки создания и функционирования сухих портов в РФ/ И.А. Арустамов/ //Экономика и предпринимательство. 2019. №9 (110). – с.1073-1079
11. Карпов, А. Л Конкуренция как экономическая категория и ее место в экономической теории// Вестник Омского университета, 2001. №2. – С. 89-92
12. Крикливец, А. А. Понятие эффективности в экономической науке / А. А. Крикливец, П. С. Сухомыро. // Молодой ученый. — 2019. — № 2 (240). — С. 237-239. — URL: <https://moluch.ru/archive/240/55571/> (дата обращения: 23.09.2020).
13. Абакаров А.Ш., Сушков Ю.А. Статистическое исследование одного алгоритма глобальной оптимизации//Труды ФОРА, 2004. №10
14. Никулина С. В. Морские порты как субъекты международной конкуренции : автореферат дис. ... кандидата экономических наук : 08.00.14 / Никулина Светлана Владимировна: [С.-Петербург. гос. ун-т]. - Санкт-Петербург, 2011.- 22 с.

15. Бодровцева, Н.Ю. Понятие и виды конкурентоспособности морских портов // Транспортное дело России. – 2016. №5 – С. 31-32
16. Юдникова Е. С. Анализ конкурентной среды на рынке контейнерных терминалов/Интернет-канал «Бизнес сайт» <http://www.sitebs.ru/blogs/37346.html>
17. Аболенцева Н. Методы оценки и повышения конкурентоспособности операторов морских контейнерных терминалов : автореферат дис. ... кандидата экономических наук : 08.00.05 / Аболенцева Наталия Олеговна; [Место защиты: С.-Петерб. гос. инженер.-эконом. ун-т]. - Санкт-Петербург, 2008. - 19 с.
18. Смирнов Г.Н. и др. Порты и портовые сооружения М.: Издательство АСВ, 2003. 464 с.
19. Обзор нашей сети. <https://www.maersk.com/>
20. Lamming, R. C., Cousins, P. D., & Notman, D. M. (1996). Beyond vendor assessment: Relationship assessment programmes. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 2(4), 173-181.
21. Johnsen, T. E., Johnsen, R. E., & Lamming, R. C. (2008). *European Management Journal*, 26, 274-287.

THE EFFECTIVE COOPERATION BETWEEN DRIES AND MARINE PORTS AS THE FACTOR OF TRANSPORT MARKET COMPETITIVE ADVANTAGES

Vladimir V. Troilin

Rostov State University of Economics, Rostov, Russia

Igor A. Arustamov

Rostov State University of Economics, Rostov, Russia

Abstract. Modern forms of management in the transport market, such as dry ports, require new approaches to ensure their cooperation with sea ports, which will eventually affect the inter-port competition of the latter ones. The researched problem was resulted in clear understanding of these relations and influence factors.

The scientific work identified these characteristics, investigated the relationship features between port managers, and based on a systematic empirical approach, the obtained data were classified using the business relationship assessment model. The complex combined integrated model was proposed that can be used to improve the cooperation between dry and sea-ports, which will affect the competitive environment between sea ports.

Keywords: Dry ports, marine ports, transport ports, competitive advantages

References:

1. Review of Maritime Transport 2019 UNCTAD/RMT/2019/Corr.1 Sales No. E.19.II.D.20 31January 2020 p . 6
2. Approval of transport strategy of Russian Federation till 2030// By order of the Government of the Russian Federation of 22 of November, #1734-p.
3. Popov V.V. Development and safety of south ports of Russia M: RKonsult. 2003-333p.
4. Troilin V.V., Arustamova M.I., Arustamov I.A. Impact of Inland Ports on Transport and Economic Balance of Azov-Black Sea Basin of Russia. *European Research Studies Journal*, Volume XXII, Issue 1 . 2019.
5. Toilin V.V. Transport and Economic Description of the Term “Dry Port”/Arustamov I.A./ Management of economic systems: scientific electronic journal 1/2018 URL: uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=4749
6. Fatimazahra Bentaleb Charif Mabrouki Elalami Semma Dry port development: A Systematic Review December 2015 //Journal of ETA Maritime Science 3(2):Pages 73 – 94
7. Alena Khaslavskaya, Violeta Roso Dry ports: research outcomes, trends, and future implication Published: 21 February 2020 by Springer Science and Business Media LLC in Maritime Economics & Logistics Maritime Economics & Logistics , Volume 22, pp 265-292;

8. Johnsen, Thomas E. & Johnsen, Rhona E. & Lamming, Richard C., 2008. "Supply relationship evaluation.: The relationship assessment process (RAP) and beyond," European Management Journal, Elsevier, vol. 26(4), pages 274-287, August.
9. Gavrilov I.A.. The value of partnerships as a factor if competitiveness // Marketing in Russia and abroad – 2009. – N.3. – p. 77-86.
10. Trolilin V.V. TRANSPORT AND ECONOMIC PREREQUISITES FOR DRY PORTS CREATION AND FUNCTIONING IN THE RUSSIAN FEDERATION/ Arustamov I.A./ Journal of Economy and Enterrpreneurship - 2019. №9 (110). – с.1073-1079
11. Karpov, A. L Competition as an economic category and its place in economic theory// Omsk University Vestnik, 2001. No. 2. - S. 89-92
12. Kriklivets, A. A. The concept of efficiency in economic science/A. A. Kriklivets, P. S. Sukhomyro //Young scientist. - 2019. - No. 2 (240). - S. 237-239. - URL: <https://moluch.ru/archive/240/55571/> (circulation date: 23.09.2020).
13. Abakarov A.Sh., Sushkov Yu.A. Statistical study of one algorithm of global optimization//Works of FORA, 2004. No. 10
14. Nikulina S.V. Seaports as subjects of international competition: the abstract dissertation of economic sciences candidate: 08.00.14/ Nikulina Svetlana Vladimirovna: St. -Petersburg. [Un]. - St. Petersburg, 2011.- 22 p.
15. Bodrovtseva, N.Y. Concept and types of seaports competitiveness//Transport business of Russia. - 2016. No. 5 - S. 31-32
16. Yudnikova E. S. Analysis of the container terminals market competitiveness // Business site <http://www.sitebs.ru/blogs/37346.html>"

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Троилин Владимир Всеволодович, профессор, профессор кафедры коммерции и логистики, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ) (ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)»), 344000, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 69 e-mail: profvvt@gmail.com

Vladimir V. Troilin, Ph.D. in Economics, Professor of Commerce and Logistics department, Rostov State University of Economics, 344000, Rostov-on-Don city, Bolshaya Sadovaya str., 69

Арустамов Игорь Артурович, аспирант кафедры коммерции и логистики, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ) (ФГБОУ ВО «РГЭУ (РИНХ)»), 344000, г. ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 69 e-mail: igor_arustamov@mail.ru

Igor A., Arustamov graduate student of Commerce and Logigistics department, Rostov State University of Economics, 344000, Rostov on Don city, Bolshaya Sadovaya str. 69.

Статья поступила в редакцию 30.09.2020 г.

Раздел IV

**Эксплуатация водного транспорта,
судовождение
и безопасность судоходства**

Section IV

***Operation of water transport, navigation
and safety of navigation***



УДК 622.69: 658.588.2: 51-7

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.135>

МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ПОСРЕДСТВОМ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА СИГНАЛА ДИСТАНЦИОННОЙ МАГНИТОМЕТРИИ

В.А. Веселов

*Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия*

В.В. Проботюк

*Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, Россия*

М.В. Китаев

*Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия*

О.Э. Суров

*Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Россия*

Аннотация. В работе рассмотрен метод выявления дефектов морских трубопроводов с помощью вейвлет-преобразования сигнала дистанционной магнитометрии. Данный метод позволяет облегчить и ускорить процесс обработки больших объемов информации, получаемых в результате измерений. Согласно статистике, от 40% до 50% аварий на морских трубопроводах происходят по причине коррозии стенок труб. В связи с этим исследования, направленные на разработку методов обследования и диагностики морских трубопроводов весьма актуальны. Для апробации предлагаемого метода выявления дефектов трубопроводов в программе инженерного анализа ELCUT была разработана численная модель, описывающая распределение магнитного поля в районе коррозионного пятна, расположенного на стенке трубы. Показано, что предложенный метод может быть использован для обнаружения дефектов и оценки технического состояния морских трубопроводов.

Ключевые слова: морские трубопроводы, коррозия, дефект, дистанционная магнитометрия, метод анализа, вейвлет-преобразование, неразрушающий контроль

Введение

Морские трубопроводы являются альтернативой судам при добыче и транспортировке природных углеводородов. Трубопроводы - это основа нефтедобывающей и перерабатывающей промышленности. Их классифицируют по разным признакам: способу прокладки, назначению, виду транспортируемого вещества, температуре транспортируемого вещества, давлению и др.

Морской трубопроводный транспорт требует постоянного мониторинга технического состояния и обслуживания для поддержания работоспособного состояния и обеспечения безопасности транспортировки сырья.

Газо- и нефтепроводы подвергаются различным нагрузкам, которые возникают вследствие внешних природно-климатических условий, агрессивности транспортируемого сырья и механических (циклических и ударных) воздействий. Это приводит к появлению напряженно-деформированных состояний, способных инициировать стресс-коррозионные процессы [1].

Объемы разлива нефти при аварийных утечках из подводных трубопроводов занимают второе место после разливов при авариях танкеров [2]. В работе [3] приво-

дится статистика аварийных ситуаций на морских трубопроводах в Мексиканском заливе и Северном море, согласно которой от 40 % до 50 % аварий происходит по причине коррозии стенок трубопроводов. Разлитая нефть является одним из самых опасных загрязнителей морской среды. За последние несколько десятилетий мировой прибрежный океан пострадал от многих катастрофических разливов нефти [4].

Множество аварийных ситуаций, происходящих по причине повреждений трубопроводов, может быть предупреждено благодаря вовремя проведенной диагностике и оценке технического состояния трубопроводов; соответственно, можно избежать расходов на ликвидацию последствий аварии и восстановление рабочего режима. Для диагностики применяются разные методы: ультразвуковой, акустико-эмиссионный, магнитный, вихретоковый и др. Использование такого разнообразия методов связано с различиями характеристик и назначения трубопроводов, условиями их эксплуатации. Очевидно, что метода, который мог бы дать полную и достоверную картину о техническом состоянии трубопровода, не существует. Проведение мероприятий по диагностике и обследованию трубопроводов затратно, так как зачастую необходимо изменение режима работы трубопровода или же полная остановка транспортировки, что приводит к значительным прямым и косвенным потерям. Поэтому вопрос об адаптации бесконтактного магнитометрического метода, не требующего вмешательства в процесс работы трубопровода, является достаточно актуальным [1].

Методы магниторазведки и магнитометрии в последние двадцать лет широко применяются при решении инженерных и геологических задач. В частности, задачи дефектоскопии инженерных сооружений, в том числе и трубопроводов, в которых используются сверхдетальные и высокоточные магнитные съёмки, занимают особое место [5].

В 2015 и 2016 гг. была испытана магнитометрическая система, которая дистанционно определяет пространственное положение заглубленных трубопроводов с помощью магнитной съёмки [6]. Это говорит о том, что дистанционная магнитометрия может успешно применяться для обследований морских трубопроводов.

Моделирование дефекта

Моделирование дефекта производилось в программе инженерного анализа – ELCUT. В качестве дефекта было принято коррозионное пятно шириной 1 м, глубиной 6 мм, при толщине стенки трубы в 12 мм (рис. 1). Магнитное поле в трубе статическое, материал трубы – сталь 09Г2С. Исходя из того, что магнитная проницаемость земли и воды составляют порядка единицы, а у металла, из которого изготовлена труба, много больше единицы, возникающей погрешностью искажения магнитного поля можно пренебречь. Следовательно, предлагаемый метод может применяться как для подземных, так и для морских трубопроводов [7].

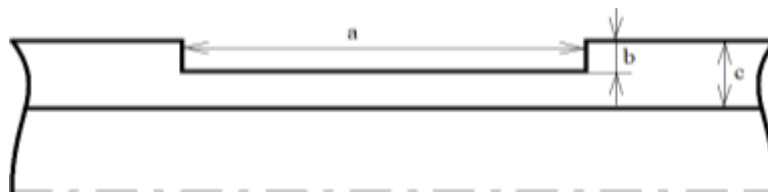


Рис.1. Модель коррозионного пятна: а – ширина пятна, b – глубина пятна, с – толщина стенки трубы.

Как видно из рисунка 2, на котором изображено распределение силовых линий напряженности магнитного поля, над пятном происходит выпучивание магнитного поля. Горизонтальная линия – это некий фиктивный контур, проведенный на высоте 1 м от трубы, вдоль которого считывались значения горизонтальной и вертикальной составляющей напряженности магнитного поля.

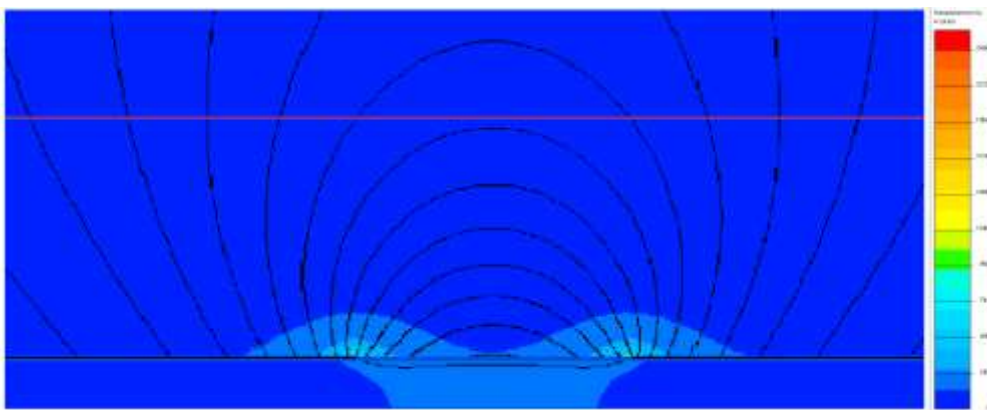


Рис. 2. Распределение силовых линий напряженности магнитного поля над коррозионным пятном

На рисунках 3-8 представлены графики значений вертикальной и горизонтальной составляющих напряженности магнитного поля, которые представляют собой отклики, с помощью которых выявляется моделируемый дефект. Отметим, что представленные графики напоминают семейство базовых вейвлетов Гаусса, так как отклик вертикальной составляющей похож на вейвлет Гаусса первого порядка, а отклик горизонтальной составляющей похож на вейвлет Гаусса второго порядка. Следовательно, для выявления дефекта на магнитограмме использованы именно эти вейвлеты. Следует заметить, что вид кривой на графиках не зависит от расстояния между трубой и линией контура, так же как и от геометрических параметров дефекта - меняется только масштаб кривой.

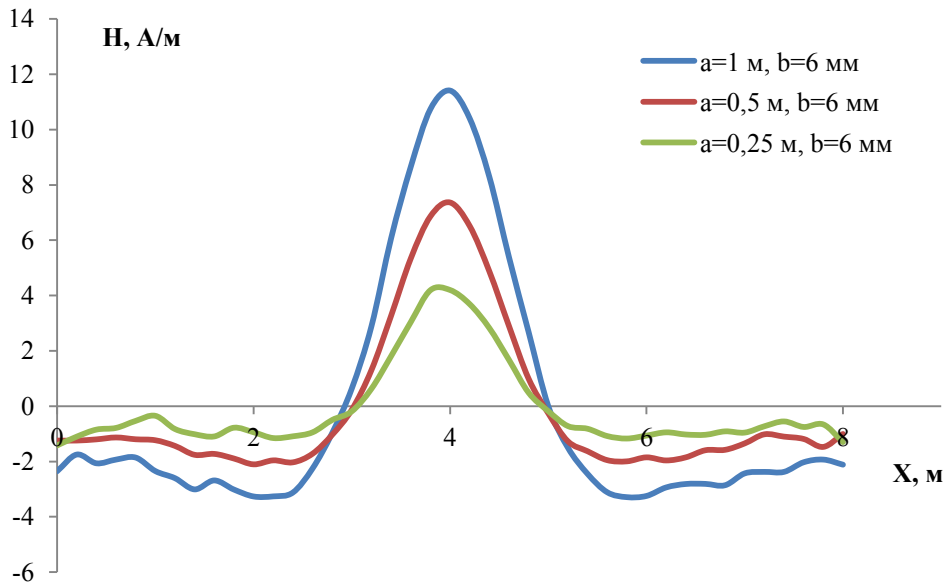
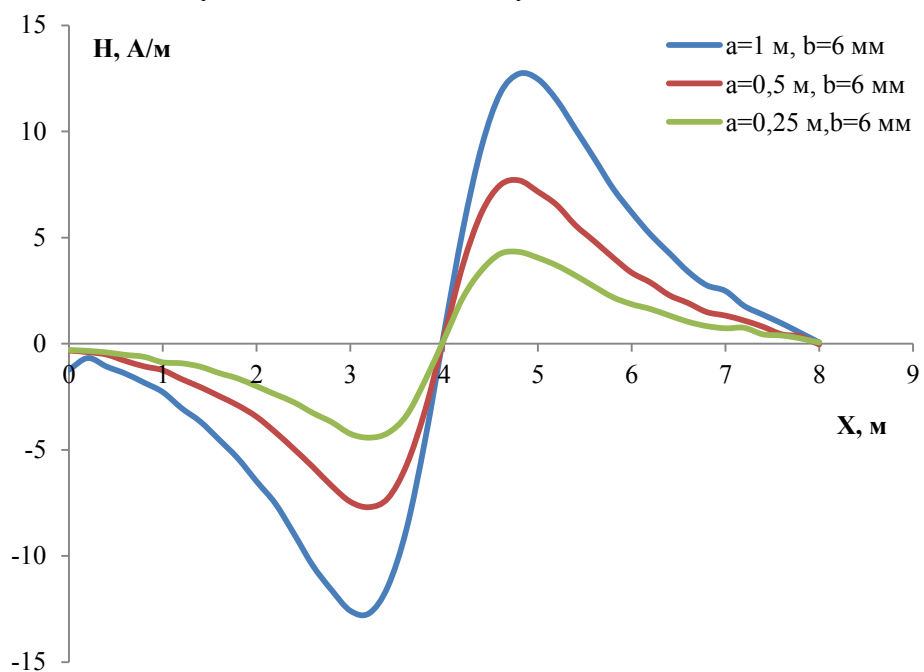


Рис.3. Значения горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля, считанные на расстоянии 1 м над коррозионным пятном, имеющим различную ширину a и постоянную глубину b .

Рис.4. Значения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля, считанные на



расстоянии 1 м над коррозионным пятном, имеющим различную ширину a и постоянную глубину b .

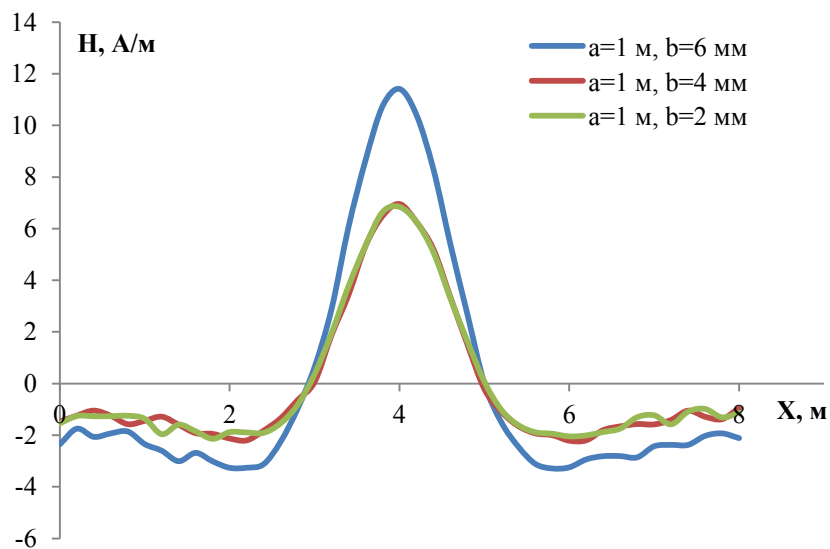


Рис.5. Значения горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля, считанные на расстоянии 1 м над коррозионным пятном, имеющим различную глубину b и постоянную ширину a .

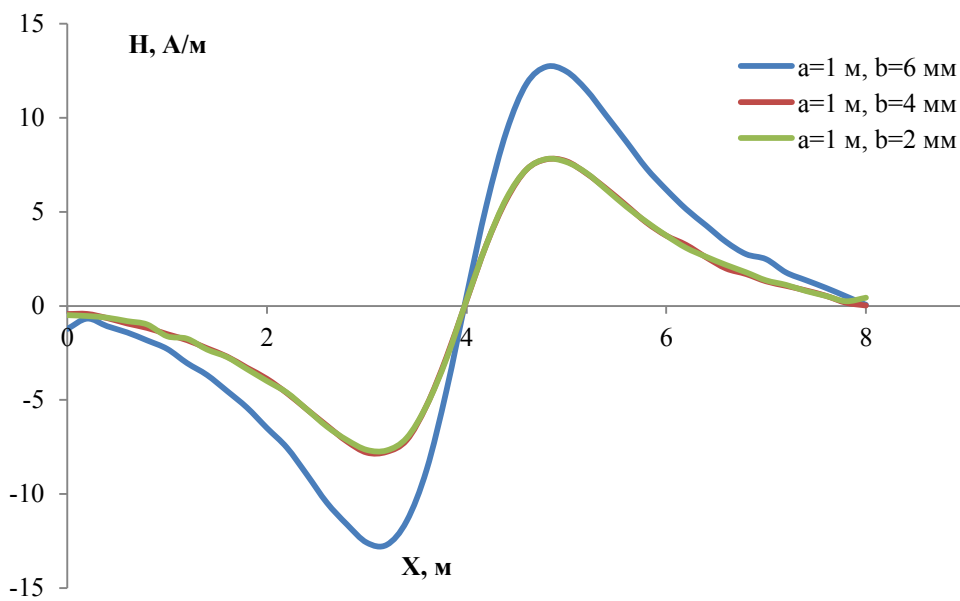


Рис.6. Значения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля, считанные на расстоянии 1 м над коррозионным пятном, имеющим различную глубину b и постоянную ширину a .

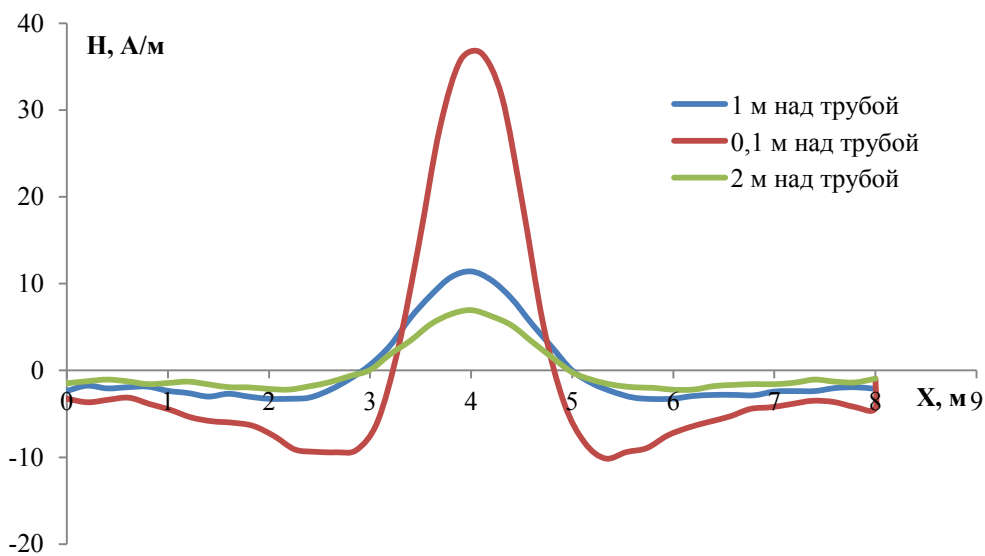


Рис.7. Значения горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля, считанные на разном расстоянии над коррозионным пятном, имеющим постоянную глубину b и ширину a .

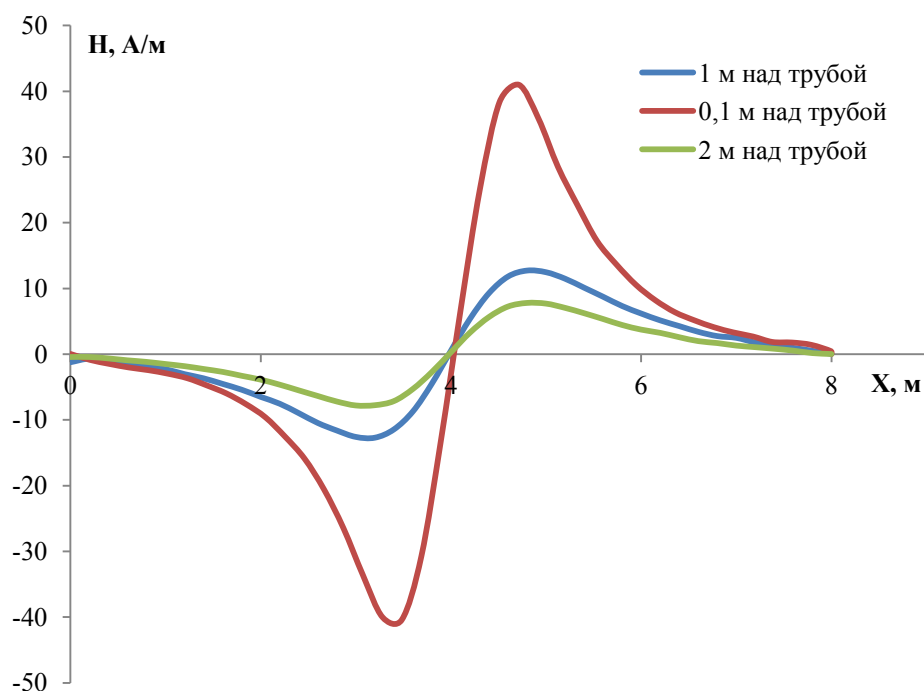


Рис.8. Значения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля, считанные на разном расстоянии над коррозионным пятном, имеющим постоянную глубину b и ширину a .

Описание метода

В данной работе рассматривается метод обработки сигнала с использованием вейвлет-преобразований на примере магнитограммы, снятой с подземного трубопровода. Вейвлет-преобразование – один из наиболее функциональных математических аппаратов для анализа и цифровой обработки сигналов. Основная область применения вейвлет-преобразований – это анализ и обработка сигналов и функций с изменяющимся во времени частотным спектром или неоднородных в пространстве [8].

Преобразование сигнала выполняется с целью разделения его на компоненты. Каждая компонента является мерой присутствия в сигнале соответствующей базисной функции. Определение состава компонент в заданном базисе выполняется с помощью прямого преобразования (анализ сигнала). Обратное преобразование позволяет получить сигнал по известному составу его компонент и базису, в котором эти компоненты определены [8].

Вейвлет-преобразование предоставляет большую информативность. К примеру, Фурье-преобразование в результате дает частотный спектр сигнала, при этом оставляя открытым вопрос о том, присутствуют ли эти частоты во всем сигнале, либо же в какой-то локальной области сигнала. Вейвлет-преобразование способно показать, где и в какие промежутки времени в сигнале присутствуют те или иные частоты [8].

Так как при снятии магнитограммы используется трехкомпонентные датчики, для измерения магнитного поля по трем осям декартовой системы координат (т.е. направления измерений вдоль трубы по горизонтали и перпендикулярно трубе по горизонтали и по вертикали), то магнитограмма представляет собой набор трех сигналов - тангенциальной и двух нормальных составляющих соответственно. Для выявления дефекта требуются графики сигналов измерений вертикальной и горизонтальной (вдоль трубы) составляющих, показанных на рисунке 9.

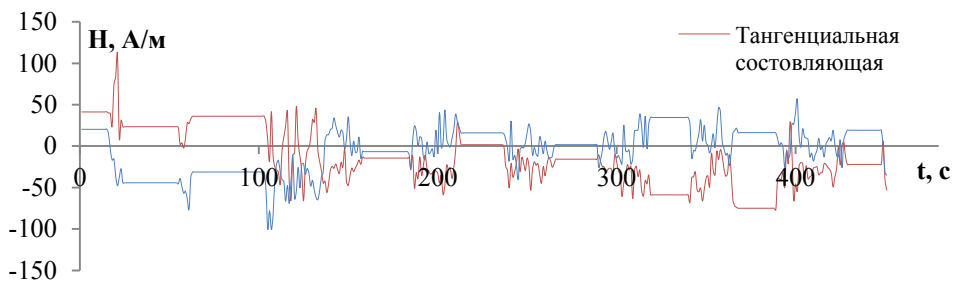


Рис.9. Часть записи магнитограммы

Проведя вейвлет-преобразование для обоих сигналов с использованием соответствующих вейвлетов, можно получить карты горизонтального рельефа, показанные на рисунках 10, 11. На представленных картах красным цветом обозначены участки сигнала, наиболее соответствующие отклику от моделируемого дефекта.

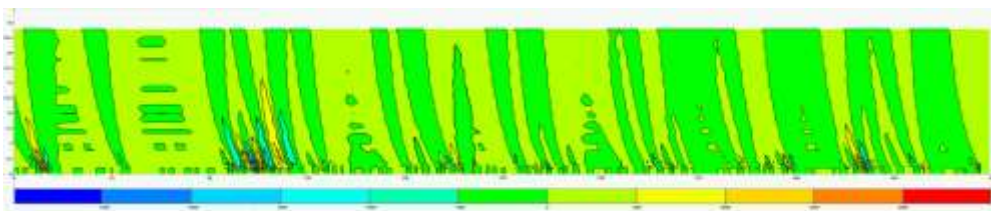


Рис.10. Карта горизонтального рельефа сигнала тангенциальной составляющей.

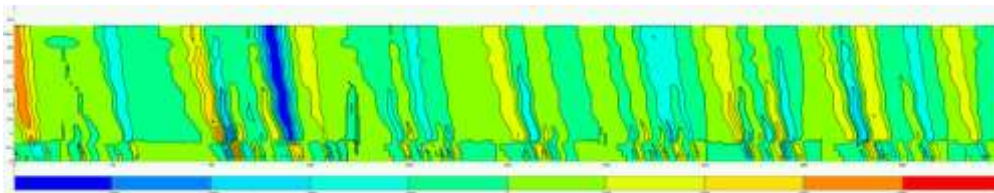


Рис.11. Карта горизонтального рельефа сигнала нормальной составляющей.

Наложение карт друг на друга позволяет определить пересечение областей, в которых сигналы максимально похожи на отклики моделируемого дефекта. Следовательно, можно предположить, что область пересечения указывает на участок сигнала, в котором вероятность нахождения дефекта наиболее высока.

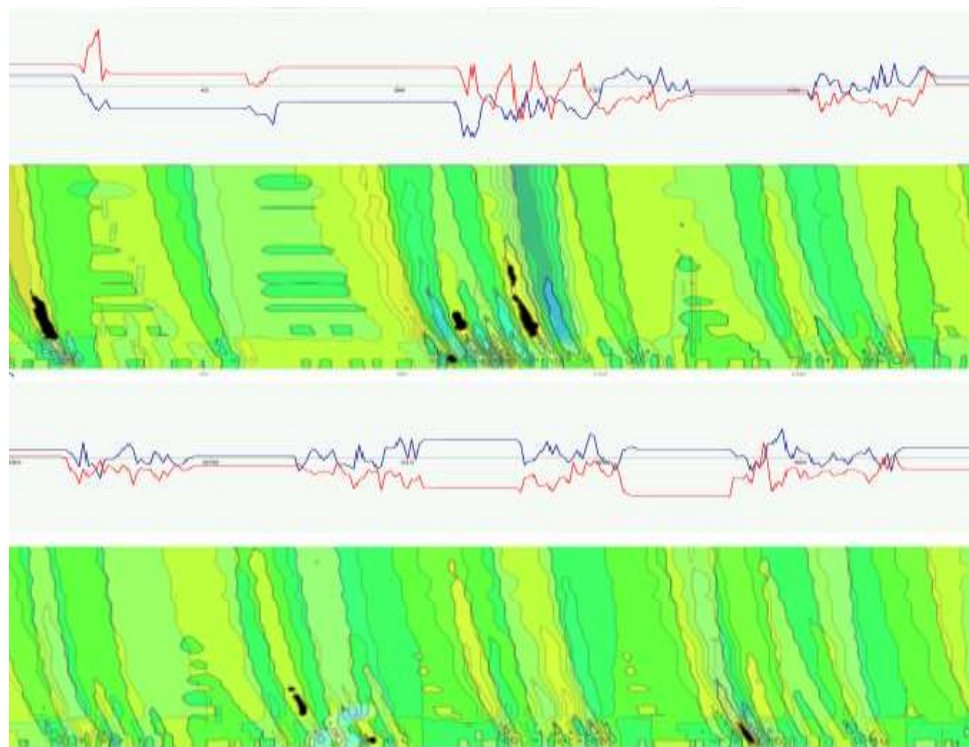


Рис. 12. Наложенные друг на друга карты горизонтального рельефа. Черным цветом выделены участки пересечения.

Заключение

В настоящей работе рассмотрен метод выявления дефектов трубопроводов, основанный на вейвлет-преобразовании сигнала дистанционной магнитометрии. Показано, что существенное влияние на результаты преобразования сигнала оказывают форма и масштаб откликов дефекта, т.е. форма и масштаб применяемых вейвлетов. При этом расстояние между трубопроводом и датчиком, а также геометрические параметры дефекта не оказывают влияния на форму кривой отклика дефекта. Предложенный метод можно применять для обследования и диагностики любых трубопроводов, в том числе и морских.

Список литературы:

1. Саксон, В.М. Диагностика стальных трубопроводов методом бесконтактной магнитометрии [Текст] / В.М. Саксон // Мир измерений. – 2012. – №6. – С. 17-21.
2. Алешин, И.В. Современные методы и технические средства обнаружения в толще морской среды аварийных утечек нефти из подводных трубопроводов [Текст] / И.В. Алешин, В.К. Гончаров, В.Ю. Осадчий, И.М. Левин, Т.М. Радомысльская, Н.Ю. Клементьева, В.С. Колобков, В.В. Зеленски, Джун Ли // Морской вестник. – 2006. – № 2 (18). – С. 78-84.
3. Лаптева Т.И.: Разработка методов обеспечения работоспособности морских нефтегазопроводов в сложных инженерно-геологических условиях арктического шельфа [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. Наук: 25.00.19: защищена 30.10.19. – Москва, 2019. – 289 С.
4. Dapeng W. Estimating offshore exposure to oil spill impacts based on a statistical forecast model // Dapeng W., Weijun G., Shujun K., Tiaojian Xu // Marine Pollution Bulletin. – 2020. – №156. – С. 1-9.
5. Стариков, В.С. Инженерная магнитометрия при исследовании технического состояния стальных трубопроводов большого диаметра [Текст] / В.С. Стариков // Вестник воронежского государственного университета. серия: Геология. – 2016. – №3. – С. 114-118.

6. Иваненко, А.Н. Определение пространственного положения подводных трубопроводов с использованием полноградиентной магнитометрической системы [Текст] / А.Н. Иваненко, В.В. Архипов, В.А. Сапунов // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2018. – № 4 (36). – С. 94-104.
7. Смирнов Н.А. Применение математического моделирования при диагностике состояния трубопровода магнитными методами неразрушающего контроля [Текст] / Н.А. Смирнов, С.М. Ельцова, Р.З. Мухаматуллин // Материалы международной научно-практической конференции молодых исследователей им. Д.И. Менделеева. – 2020. – С. 26-28.
8. Сайфулин, Р.Т. Непрерывное вейвлет-преобразование сигналов аналитических приборов [Текст] / Р.Т. Сайфулин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2011. – № 2 (30). – С. 76-82.
9. Алексеев, В. И. Вейвлет-анализ сигналов дефектоскопов, локализация и измерение глубин разрушений внутритрубных дефектов трубопроводов [Текст] / В. И. Алексеев, Р. А. Булатов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – № 2. – С. 70-77
10. Дмитриевский, А.Н. Бесконтактная диагностика нефтегазопроводов: состояние и перспективы развития [Текст] / А.Н. Дмитриевский, С.С. Камаева, А.Д. Черников, Н.А. Еремин // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2018. – № 1 (20). – С. 11.
11. Игнатьев, А.А. Магнитометрия слабых магнитных полей [Текст] / А. А. Игнатьев // Гетеромагнитная микроэлектроника. – 2013. - №15. – С. 11-32.

METHOD FOR DETECTING DEFECTS IN MARINE PIPELINES BY WAVELET ANALYSIS OF REMOTE MAGNETOMETRY SIGNAL

Vitaly A. Veselov

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Vladimir V. Probotyuk

Tyumen industrial University, Tyumen, Russia

Maksim V. Kitaev

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Oleg E. Surov

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract. The paper considers a method for detecting offshore pipelines defects using a wavelet transform of a remote magnetometry signal. This method makes it easier and faster to process large amounts of information obtained as the measurement result. According to statistics, 40% to 50% of accidents with offshore pipelines occur due to the pipe walls corrosion. Thus, the research aimed to develop the methods for offshore pipelines inspection and diagnostics is very important. For the testing of the suggested method for detecting pipeline defects, on the engineering analysis software ELCUT base a numerical model describing the magnetic field distribution in the area of corrosion spot located on the pipe wall was developed. It is shown that the suggested method can be used for detecting the defects and evaluating the offshore pipelines technical condition.

Keywords: marine pipelines, corrosion, defects, remote magnetometry, analysis method, wavelet transform, non-destructive testing

References:

1. Sakson, V.M. "Diagnostika stal'nyh truboprovodov metodom beskontaktnoj magnitometrii" (Diagnostics of steel pipelines by contactless magnetometry) *Mir izmerenij* 6 (2012): 17-21.
2. Aleshin. I.V., Goncharov. V.K., Osadchij. V.Yu., Levin. I.M., Radomylskaya. T.M., Klement'eva. N.Yu., Kolobov. V.S., Zelenskij. V.V., Djun Li "Sovremennye metody i tekhnicheskie sredstva obnaruzheniya v tolshe morskoy sredy avarijnyh utechk nefti iz podvodnyh truboprovodov" (Modern methods and technical means for detecting accidental oil leaks from underwater pipelines in the marine environment) *Morskoy vestnik* 2 (2006): 78-84.

3. Lapteva T.I. Razrabotka metodov obespecheniya rabotosposobnosti morskikh neftegazoprovodov v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh arkticheskogo shel'fa: dis. na soisk. uchen. step. d-ra tekhn. Nauk: 25.00.19: zashchishchena 30.10.19., Moskva, 2019. 289 p.
4. Dapeng W., Weijun G., Shujun K., Tiaojian Xu "Estimating offshore exposure to oil spill impacts based on a statistical forecast model" Marine Pollution Bulletin 156 (2020): 1-9.
5. Starikov, V.S. "Inzhinernaya magnitometriya pri issledovanii tekhnicheskogo sostoyaniya stal'nykh truboprovodov bol'shogo diametra" (Engineering magnetometry in the study of the technical condition of large-diameter steel pipelines) Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. seriya: Geologiya 3 (2016): 114-118.
6. Ivanenko. A.N., Arhipov. V.V., Sapunov. V.A. "Opreделение prostranstvennogo polozheniya podvodnykh truboprovodov s ispol'zovaniem polnogradientnoy magnitometricheskoy sistemy" (Determination of the spatial position of underwater pipelines using a full-gradient magnetometric system) Nauchno-tekhnicheskij sbornik Vesti gazovoy nauki 4 (2018): 94-104.
7. Smirnov N.A., El'cova S.M., Muhamatullin R.Z. "Primenenie matematicheskogo modelirovaniya pri diagnostike sostoyaniya truboprovoda magnitnymi metodami nerazrushayushchego kontrolya" (Application of mathematical modeling in diagnostics of pipeline condition by magnetic methods of non-destructive testing) Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii molodykh issledovatelej im. D.I. Mendeleeva 2020: 26-28 p.
8. 7Sajfulin, R.T. Nепrерывное вейвлет-преобразование сигналов аналитических приборов (Continuous wavelet transform of analytic instruments signals) Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki 2 (2011): 76-82 p.
9. Alekseev. V.I., Bulatov. R.A. "Вейвлет-анализ сигналов дефектоскопов, локализация и измерение глубин разрушений внутритрубных дефектов трубопроводов" (Wavelet analysis of flaw detector signals, localization and measurement of the depth of destruction of in-line pipeline defects) Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproductov 2 (2013): 70-77.
10. Dmitrievskij, A.N., Kamaeva S.S., Chernikov A.D., Eremin N.A. "Beskontaktnaya diagnostika neftegazoprovodov: sostoyanie i perspektivy razvitiya" (Contactless diagnostics of oil and gas pipelines: status and prospects of development) Aktual'nye problemy nefti i gaza 1 (2018): 11 p.
11. Ignat'ev. A.A. Magnitometriya slabyykh magnitnykh polej (Magnetometry of weak magnetic fields) Geteromagnitnaya mikroelektronika 15 (2013): 11-32.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Веселов Виталий Алексеевич, студент магистратуры департамента морской техники и транспорта, «Дальневосточный федеральный университет», (ФГАОУ ВО ДВФУ), 690922, г. Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 10, e-mail: veselov.va@students.dvfu.ru

Проботюк Владимир Викторович, к.т.н., доцент кафедры физики, методов контроля и диагностики, «Тюменский индустриальный университет» (ВГБОУ ВО «ТИУ»), 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, e-mail: probotjukvv@tyuiu.ru

Китаев Максим Владимирович, к.т.н., доцент департамента морской техники и транспорта, «Дальневосточный федеральный университет», (ФГАОУ ВО ДВФУ), 690922, г. Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 10, e-mail: kitaev.mv@dvfu.ru

Суков Олег Эдуардович, к.т.н., доцент департамента морской техники и транспорта, «Дальневосточный федеральный университет», (ФГАОУ ВО ДВФУ), 690922, г. Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 10, e-mail: sukov.oye@dvfu.ru

Vitaly A. Veselov, master's degree student of the Department of marine engineering and transport, Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922

Vladimir V. Probotyuk, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of physics, monitoring and diagnostic methods, Tyumen industrial University, 38, Volodarskogo st, Tyumen, 625000

Maksim V. Kitaev, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of marine engineering and transport, Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922

Oleg E. Surov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of marine engineering and transport, Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922

Статья поступила в редакцию 22.10.2020 г.

УДК 659.62

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.136>

ЛЕДОВАЯ ХОДКОСТЬ СУДОВ С НЕТРАДИЦИОННЫМ ФОРМООБРАЗОВАНИЕМ

В.А. Лобанов

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0931-7317>

Аннотация. В статье констатирован факт значимого увеличения состава ледовока-тегорийного флота внутреннего и смешанного река-море плавания с нетрадиционными обводами судовых корпусов. С использованием САЕ-технологий изучен и проанализирован характер взаимодействия таких судов с мелкобитыми и тёртыми льдами различной толщины и сплочённости в ледовом канале. Основное внимание уделено исследованию влияния бульбообразных носовых оконечностей различных форм на изменение уровня ледового сопротивления судна. Отмечены качественные особенности такого контакта бульбоносных судов с водолеяной средой. Проведён статистический анализ полученных экспериментальных данных по оценке влияния конструктивных, динамических и ледовых факторов на ледовую ходкость судов с нетрадиционным формообразованием. Дан количественный прогноз такого влияния в виде многофакторного эмпирического уравнения регрессии.

Ключевые слова: ледовые условия, ледовые транспортные операции, судно, носовой бульб, ледовые качества, ледовое сопротивление, ледовая ходкость, САЕ-система, конечноэлементное моделирование

Введение

Многолетний опыт планирования, организации и реализации ледовых операций с участием водного транспорта выявил комплекс проблем в этой сфере производственной деятельности. По степени адекватности научно-методических и технических способов решения всю совокупность этих проблем допустимо разделить на два уровня. К первому уровню относятся частные ледовые задачи, требующие «специального экспертного рассмотрения». Это – оперативные задачи обеспечения безопасности ледового судоходства; планирование и проведение «ненормированных» (разовых) ледовых транспортных, ледокольных, ледозащитных операций; прогноз ледовых качеств специальных водных объектов или судов с индивидуальными конструктивными особенностями; ликвидация последствий техногенных происшествий в ледовых условиях акваторий и др.

Корректность экспертного решения, в первую очередь, определяется объёмом и репрезентативностью эмпирической базы данных по исследуемому процессу. В современных интенсивно изменяющихся условиях (и, в первую очередь, качественного состава флота) это требует постоянной актуализации подобных баз данных. Однако этот процесс, использующий в качестве источника информации регулярные натурные ледовые испытания судов, по экономическим соображениям потребителей (судоходных компаний, различных государственных ведомств) к настоящему времени сведён до уровня «неприемлемости» [1]. В ряде случаев пополнение ледовых баз данных допустимо производить по результатам экспериментов в ледовых бассейнах [2-7]. При этом следует учитывать, что несовершенство модельной ледяной среды не обеспечивает полное подобие природы и модели. Раздельный анализ ледовых и гидродинамиче-

ских нагрузок на корпус и движительно-рулевой комплекс (ДРК) судна также невозможен в экспериментальных методах.

Второй уровень ледовых воднотранспортных проблем объединяет в себе задачи эксплуатационного характера. В основном, это - планирование различной заблаговременности ледовых транспортных операций. Этот уровень отличается «пониженными» требованиями к оправдываемости прогнозных мероприятий. Нередко запросы на корректность решения допускают «прикидочные» оценки. Поэтому для данного уровня вполне оправдано использование традиционных аналитических и полумпирических методик расчёта [6-9].

Научные изыскания автора сосредоточены на проблематике, связанной с расчётами ледовых качеств судов речного и прибрежного плавания. Их основная масса нормирована классификационными обществами (в РФ – Регистрами судоходства) на ледовый уровень «Ice1» («Лёд40»). Безопасные условия ледовой работы такого флота обеспечиваются лишь в мелкобитом, тёртом льду и в ледяной каше. К настоящему времени флот внутреннего и смешанного плавания пополнился судами с новыми обводами. В качестве новизны у некоторых проектов следует отметить повышенную ширину (до 17 м) и длину цилиндрических частей (до 75% расчётной длины), полные обводы с коэффициентом полноты водоизмещения выше 0,93 (пр. 19614, RSD44, RST27), бульбоносые образования (пр. RST07, RST22, RST27). Регистрами судоходства такие корпуса отмечены как нетрадиционные. Эти суда имеют свои особенности взаимодействия со льдами. Характер их «обтекания» исследуемой водоледающей средой пока недостаточно изучен, что снижает надёжность прогноза их ледовых качеств.

Авторский опыт последнего десятилетия показал, что практически любые задачи речной и морской ледотехники разрешимы с применением современных CAE-технологий при высокой степени адекватности моделирования [10]. Результаты CAE-анализа также можно рекомендовать как альтернативу натуре и эксперименту в качестве репрезентативного источника ледовых данных [11-17]. Однако следует отметить, что стремление к «точным» решениям проблем в этом случае сопряжено с формулировкой гиперресурсозатратных виртуальных моделей и требует высокопроизводительных ресурсоёмких вычислительных комплексов, а также квалифицированного ИТ-персонала для анализа результатов. При этом всегда сохраняется возможность разумного компромисса по критерию «ресурсозатраты/оправдываемость».

В настоящей работе автором проведена и статистически проанализирована очередная серия CAE-испытаний в мелкобитых и тёртых льдах транспортных судов с нетрадиционными обводами. Цель работы – адаптация нормативных методик оценки ледовой ходкости судов внутреннего и смешанного плавания к обновлённым конструктивным особенностям этого флота при решении ледовых задач уровня эксплуатации [9, 18].

Моделирование

Теоретическая база CAE-симулирования контакта конструкций корпуса судна и его ДРК с водоледающей средой (типы и формулировки конечных элементов, особенности реологического поведения материалов, алгоритмы взаимодействия контактных границ, способы описания геометрии конструкций и приёмы формирования конечно-элементных сеток для них, начальные и граничные условия, подходы к снижению ресурсозатратности моделей) сформулированы и апробированы автором в предыдущих работах, посвящённых решению ряда проблем судоходства во льдах [1, 15-17]. Для существенного ускорения моделирования геометрии обводов судовых корпусов с требуемыми параметрами автором использована MATHCAD-среда в соответствии с рекомендациями работы [17].

Выполненный в данной работе анализ базировался на статистическом ряде нескольких десятков CAE-прогнозов судов при варьировании их формы, габаритов и осадки в различных динамических, кинематических и ледовых условиях (Табл. 1).

Примеры исходного состояния моделей приведены на рис. 1.

Таблица 1

Расчётные параметры судов и ледяной среды

Параметр	Величина и интервал варьирования, характеристика
Форма корпуса судна	*Традиционная **Носовой бульб типа «таран» ***Носовой бульб типа «плуг» Килевая
Длина × Ширина × Осадка судна (L×B×T), м	80,0-140,0 × 10,0-16,5 × 1,5-4,0
Коэффициент полноты носовой части судна (δ)	0,62-0,93
Наклон форштевня к вертикали на действующей ватерлинии (φ), градус	****(-60)-(+56)
Наклон действующей ватерлинии к диаметральному ба-токсу на первом теоретическом шпангоуте (α), градус	20-40
Относительные длина × Ширина ледового канала, длина и ширина судна соответственно	3,0-3,5 × 2,5-3,0
Толщина льда, м	0,2-0,5
Относительная сплочённость льда	0,9-1,0
Раздробленность льда	Мелкобитый и тёртый
Скорость судна, м/с	1,0-3,5

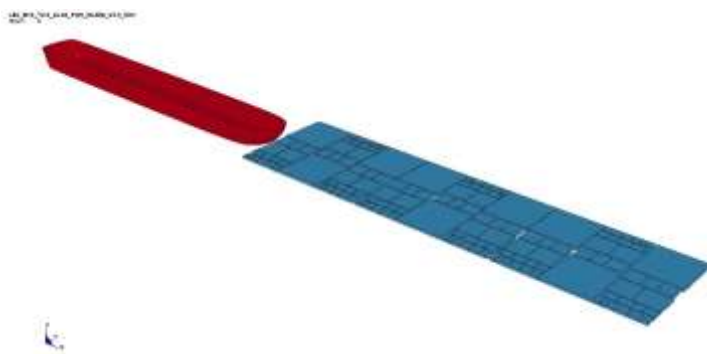
Примечания.

* Традиционную форму корпуса судна характеризует наличие плоскодонной цилиндрической вставки с вертикальными бортами, U-V-образные шпангоуты в носовой оконечности, коэффициент полноты носовой половины судна ~ 0,75-0,90

** Носовой бульб типа «таран» – удлиненный цилиндрический, диаметр которого значительно меньше ширины судна;

*** Носовой бульб типа «плуг» – короткий по всей ширине судна, имеющий форму близкую к тупому «плугу-окучнику» («двухотвальному» плугу);

**** Отрицательные значения наклона форштевня применимы только для судна с носовом бульбом типа «плуг» при минимальной расчётной осадке.



а

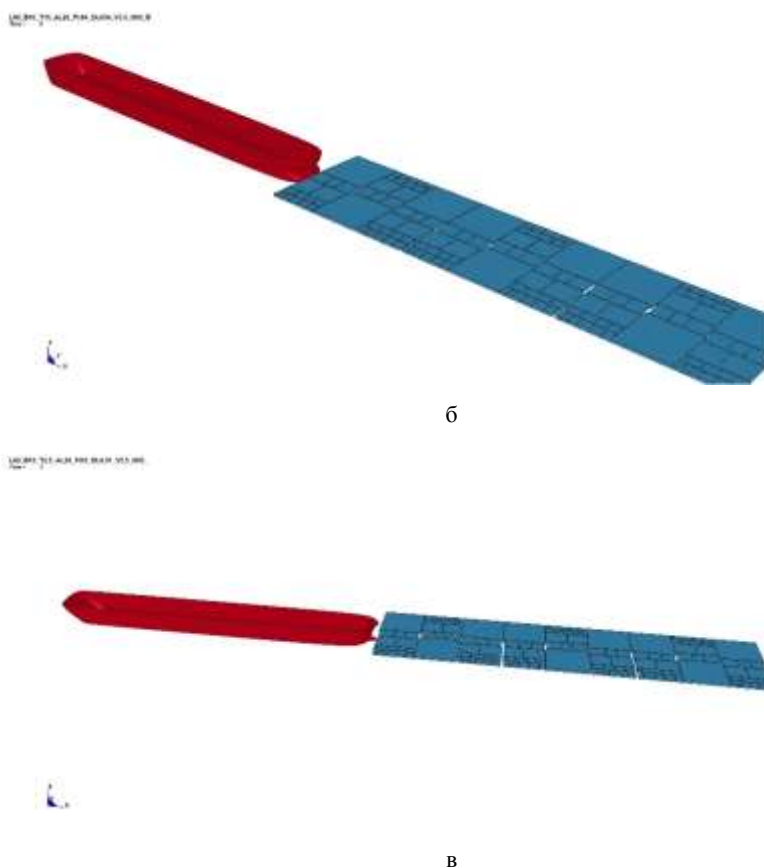


Рис. 1. Примеры исходной модели: а – судно традиционной формы; б – судно с носовым бульбом типа «плуг»; в – судно с носовым бульбом типа «таран»

Работа ДРК, гидродинамика корпуса судна и льда были описаны узловыми силами по аналогии с работами [1, 15-17].

Характер ледового «обтекания» и ледовое сопротивление

Уже на этапе качественного анализа результатов САЕ-моделирования этой серии испытаний была подтверждена первоначальная гипотеза о преобладающем влиянии судовых обводов (и, в первую очередь, носовых заострений) на характер «обтекания» корпусов мелкобитыми и тёртыми льдами и, вероятно, на величину их ледового сопротивления. Это убедительно иллюстрирует ряд характерных фрагментов визуализации САЕ-моделей, полученных в данной работе (Рис. 2).

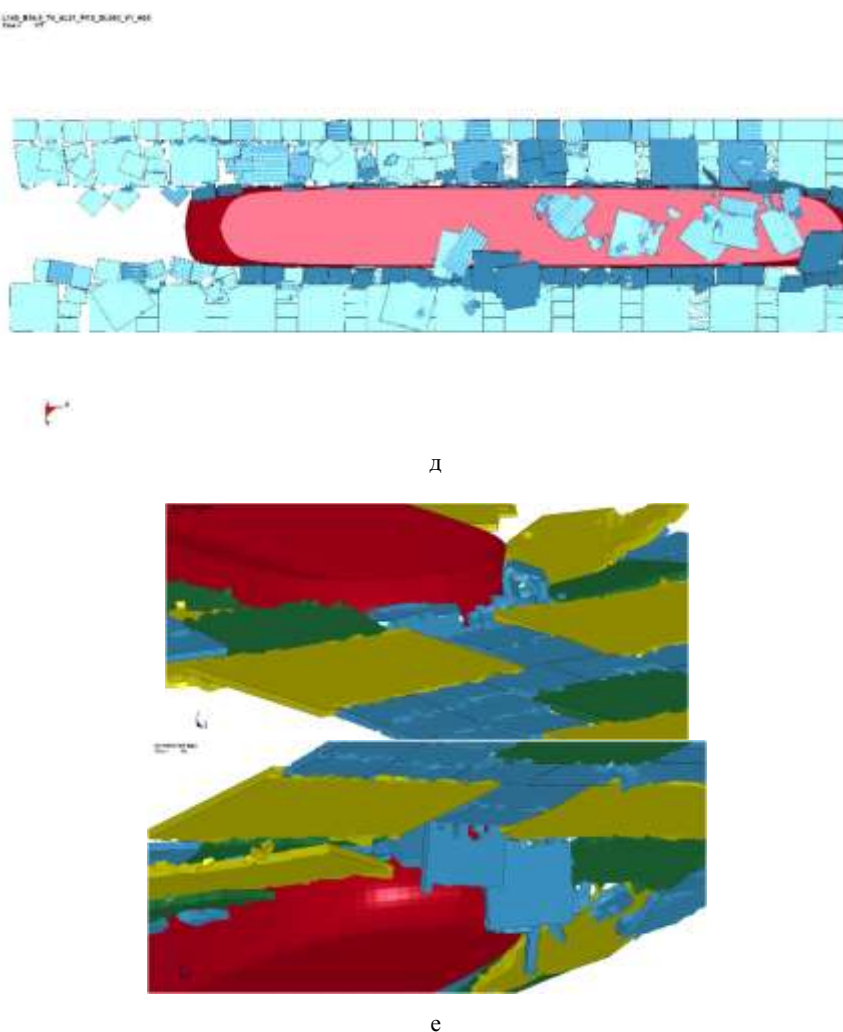


Рис. 2. Характер «обтекания» льдами корпусов судов (вид снизу)
 а – килевое судно; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,62$; $\varphi = 16^\circ$; $\alpha = 30^\circ$
 б – традиционная форма судна; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,91$; $\varphi = 16^\circ$; $\alpha = 38^\circ$
 в – судно с носовым бульбом типа «пług»; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,94$; $\varphi = -64^\circ$; $\alpha = 29^\circ$
 г – судно с носовым бульбом типа «таран»; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 2,5$; $\delta = 0,91$; $\varphi = 19^\circ$; $\alpha = 38^\circ$
 д – традиционная форма судна; $L \times B \times T = 140,0 \times 16,5 \times 4,0$; $\delta = 0,93$; $\varphi = 10^\circ$; $\alpha = 21^\circ$
 е – танкер проекта RST27

Так, например, суда с классическими обводами (и, особенно, с малыми коэффициентами общей полноты) очень интенсивно пропускают исследуемую ледяную среду «под себя», способствуя минимизации уровня продольных корпусных ледовых нагрузок (Рис. 2а, б). Суда с носовым бульбом типа «пług» с очевидностью «вспахивают» (приподнимают, переворачивают и раздвигают) ледяной покров, незначимо пропуская его «под себя», что провоцирует значительный прирост их ледового сопротивления (Рис. 2б, е). Также можно предположить, что суда с носовым бульбом типа «таран» по величине ледового сопротивления занимают промежуточное положение между предыдущими (Рис. 2г).

Вышеотмеченные особенности ледового контакта исследуемой группы флота удовлетворительно согласуются с данными количественного анализа САЕ-

буксировок судов во льдах. Так, на рис. 3 приведены характерные примеры осциллограмм (линии А-D) и их сглаженных кривых (линии Е-Н) ледового сопротивления четырёх судов.

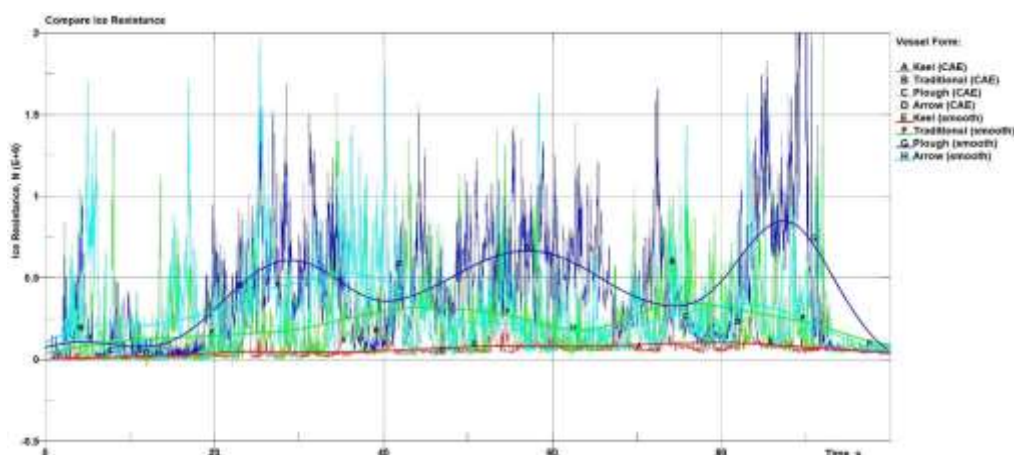


Рис. 3. Сравнительный анализ буксировочных ледовых сопротивлений судов

А, Е – килевое судно; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,62$; $\varphi = 16^\circ$; $\alpha = 30^\circ$

В, F – традиционная форма судна; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,91$; $\varphi = 16^\circ$; $\alpha = 38^\circ$

С, G – судно с носовым бульбом типа «плуг»; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,94$; $\varphi = -64^\circ$; $\alpha = 29^\circ$

Д, H – судно с носовым бульбом типа «таран»; $L \times B \times T = 80,0 \times 10,0 \times 1,5$; $\delta = 0,91$; $\varphi = 16^\circ$; $\alpha = 38^\circ$

Суда (рис. 3), имея одинаковые габариты (длину, ширину, осадку), отличаются формой корпуса. При этом их буксировка проходила в одинаковых кинематических (скорость 1,0 м/с) и ледовых (мелкобитые и тёртые льды толщиной 0,5 м и сплочённостью 9-10 баллов) условиях.

Как следует из анализа кривых рис. 3, разница в уровне ледового сопротивления судов в зависимости от «ледовой обтекаемости» их корпусов может достигать почти порядка (сравнение кривых Е и G у килевого и «плугообразного» бульбоносого судна соответственно). Промежуточные значения сопротивления свойственны судам с традиционной формой корпуса и с носовым бульбом типа «таран». При этом отмечается некоторое превышение уровня ледовых нагрузок на корпусе бульбоносого судна по отношению к традиционному (сравнение кривых F и H у традиционного и «таранообразного» бульбоносого судна соответственно).

Очевиден также тот факт, что три последние осциллограммы (Рис. 3, линии В, С, D) демонстрируют резкое падение величины ледовых нагрузок в момент времени $\approx 1,5$ мин, которому соответствует выход из зоны контакта со льдом носового заострения судна. Последнее явно свидетельствует о преобладающем вкладе носовой части в суммарное ледовое сопротивление у судов с «полными» передними обводами. Для судов с «пологими» носовыми обводами такой эффект сильно сглажен (Рис. 3, линия А).

Значимый разброс уровней ледового сопротивления таких судов, бесспорно, будет порождать ощутимые различия в их ледовой ходкости даже при наличии однотипных ДРК и энергетических установок.

Ледовая ходкость

Обработка результатов численных экспериментов и натурных испытаний флота [8, 18] позволила скорректировать нормативную методику оценки ледовой ходкости судов внутреннего и смешанного плавания [9] к следующему виду:

$$V = V_0(\sqrt{u^2 - 0,016K_{me}K_{br}hs^4b_h + d_h} - u), \quad (1)$$

где V – достижимая скорость движения судна в ледовом канале, м/с;
 V_0 – скорость полного хода судна на чистой воде, м/с;
 u – эмпирический коэффициент:

$$u = 2,5hs^2a_h + 0,5(d_h - 1), \quad (2)$$

где h – толщина льда, м;
 s – сплочённость льда, балл;
 a_h – эмпирический коэффициент:

$$a_h = \frac{3,6BV_0}{1000P_{go}}, \quad (3)$$

где B – расчётная ширина судна, м;
 P_{go} – тяга движителей на полном ходу в чистой воде, кН;
 d_h – эмпирический коэффициент:

$$d_h = K_f \frac{P_{ro}}{P_{go}}, \quad (4)$$

где K_f – коэффициент формы судна, определяемый по графику рис. 4.

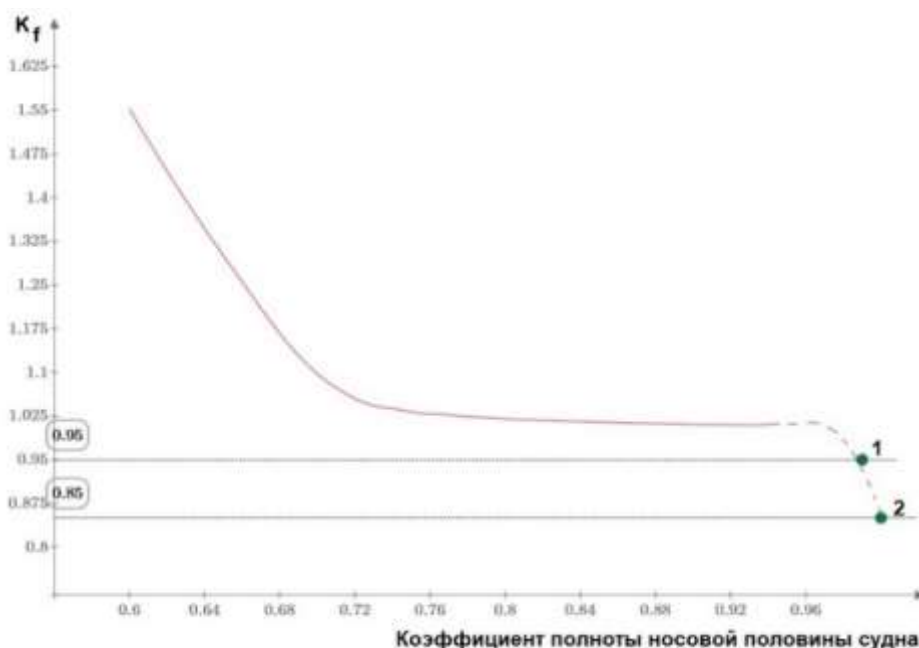


Рис. 4. Влияние формы носовой оконечности на ходкость судна

(Ордината точки 1 на кривой соответствует значению коэффициента формы для судна с бульбообразным носом типа «таран», ордината точки 2 - для судна с бульбообразным носом типа «пług»)

P_{ro} – упор движителей «на швартовах», кН;
 K_{me} – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние разрушенности льда на ходкость судна. Определяется по графику рис. 5.

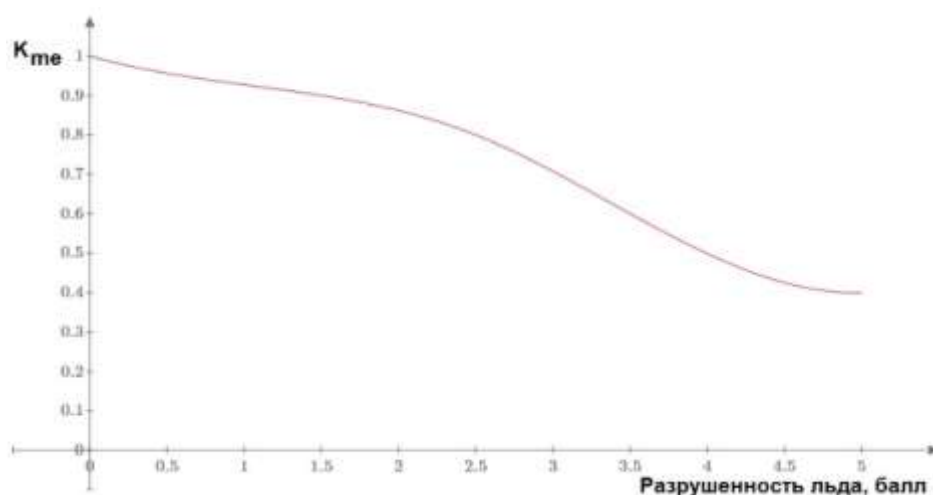


Рис. 5. Влияние разрушенности льда на ходкость судна

K_{br} – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние ширины ледового канала на ходкость судна. Определяется по графику рис. 6, учитывая, что аргументом является отношение ширины канала к расчётной ширине судна. При этом ширину «свежего» канала за ледоколом допустимо рассчитывать по графику рис. 7, ординатой на котором является отношение ширины проложенного канала к расчётной ширине ледокола.

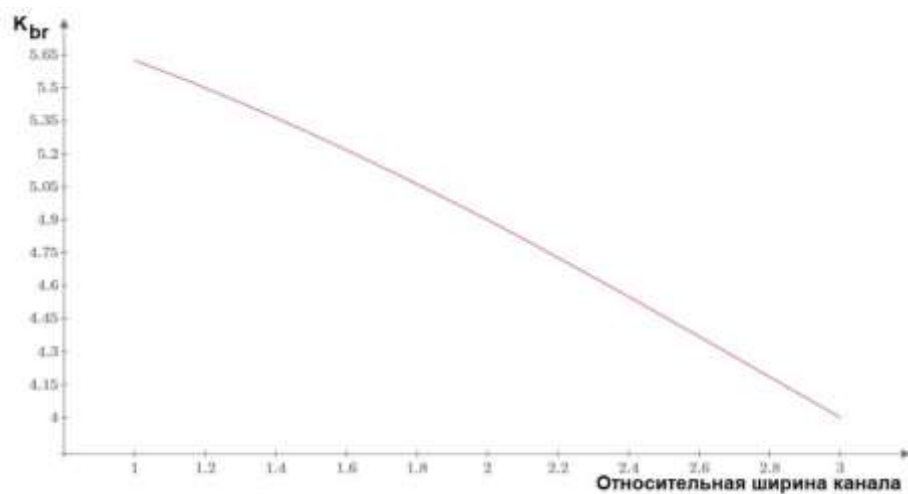


Рис. 6. Влияние ширины канала на ходкость судна

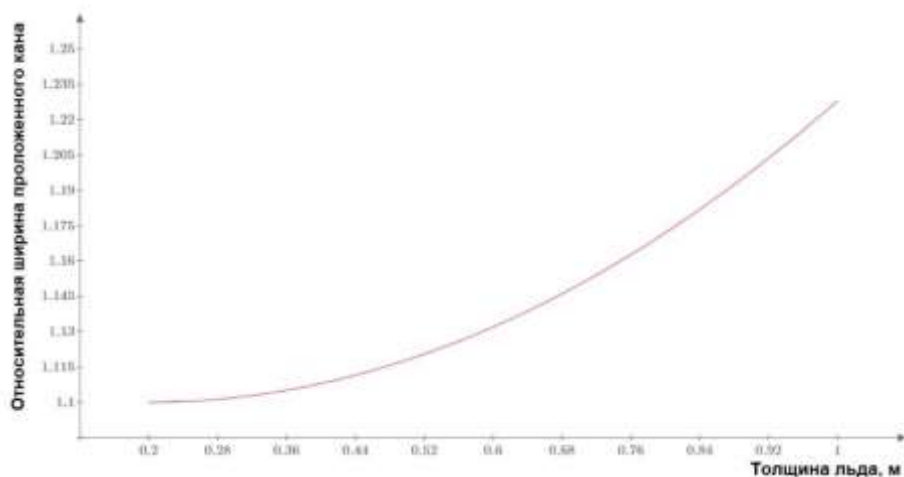


Рис. 7. Относительная ширина «свежего» канала

b_h – эмпирический коэффициент:

$$b_h = \frac{V\sqrt{BL}}{1000P_{go}}, \quad (5)$$

где L – расчётная длина судна, м.

В качестве примера на рис. 8 показана график ходкости танкера проекта RST27 в ледовом канале за ледоколом проекта 1191.

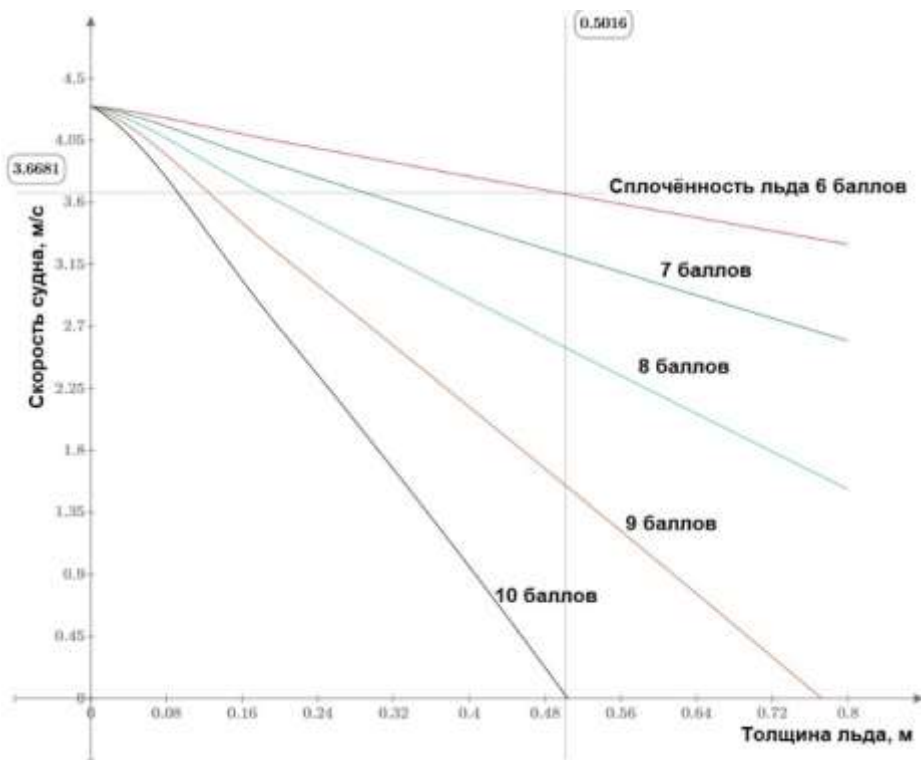


Рис. 8. Ледовая ходкость танкера проекта RST27 в мелкобитых и тёртых льдах

Методика расчёта ледовой ходкости исследованной группы флота (1) базируется на обработке совокупности данных различных источников, имеющих значительную дисперсию. При статистической значимости она не претендует на уровень повышенной точности, ограничиваясь применением лишь в задачах эксплуатационного характера – планировании ледовых транспортных операций.

Выводы

При невозможности реализации натуральных ледовых испытаний флота и экспериментов в бассейнах как альтернативу им можно рекомендовать CAE-симуляцию в качестве репрезентативного источника ледовых данных.

Преобладающее влияние на суммарное ледовое сопротивление судов с нетрадиционными обводами оказывает носовая часть.

Предложенная методика расчёта ледовой ходкости ограничена применением в задачах эксплуатационного характера – планировании ледовых транспортных операций.

Список литературы:

1. Лобанов В.А. Разработка с применением CAE-систем нормативных документов по безопасности ледового плавания судна //Интернет-журнал «Науковедение». 2013 №4 (17) [Электронный ресурс]. – М. 2013. – с. 1-14. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/71tvn413.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
2. Alexey Dobrodeev, Kirill Sazonov, Alexander Andryushin, Sergey Fedoseev, Sergey Gavrilov. Experimental Studies of Ice Loads on Pod Propulsors of IceGoing Support Ships. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_031_Dobrodeev.pdf>
3. Michael Lau. Friction Correction for Model Ship Resistance and Propulsion Tests in Ice. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_125_Michael.pdf>
4. Hyoil Kim, Namkyun Im, Junji Sawamura. Experimental and Numerical Investigation of Ship-Ice Interactions in Pack Ice. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_111_Hyoil.pdf>
5. Seong-Yeob Jeong, Jeong-Gil Yum, Eun-Jee Cheon, Kyungsik Choi. Ice Load Characteristics on a Model Ship Hull Installed with Tactile Sensor Panels. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_151_Eun-Jee.pdf>
6. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. 2 издание, исправленное. – СПб.: Судостроение, 2014. – 504 с., ил.
7. Каштелян В.И., Позняк И.И., Рывлин А.Я. Сопротивление льда движению судна. – Л.: Судостроение, 1968. – 238 с.
8. Тронин В.А. Повышение безопасности и эффективности ледового плавания судов на внутренних водных путях: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: специальность 05.22.16 – Судовождение / Горький, 1990. – 414 с.
9. Инструкция. Требования к транспортным судам, предназначенным для эксплуатации в ледовых условиях и при отрицательных температурах воздуха. РД 212.0148-87. Руководящий документ по стандартизации, группа Т50. Утверждён и введён в действие МРФ РСФСР 27.11.1987 г. – Л.: Транспорт, 1989. – 20 с.
10. Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA. <<https://www.lstc.com/products/ls-dyna>>
11. Akihisa Konno, Akihiro Nakane, Satoshi Kanamori. Validation of numerical estimation of brash ice channel resistance with model test. Proceedings of the 22 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. June 9-13, 2013, Espoo, Finland. <http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_143.pdf>

12. Cheol ho Ryu, Hyun Soo Kim, Kyung Duk Park, Chun Ju Lee, Jae-Moon Lew⁴. Development of ice resistance estimation system using empirical formula. Proceedings of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 9-13, 2013, Espoo, Finland. <http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_037.pdf>
13. Junji Sawamura, Ryouhei Kikuzawa, Takashi Tachibana, Masaya Kunigita. Numerical investigation of the ice Force Distribution around the Ship Hull in level Ice. Proceedings of the 21 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. July 10-14, 2011, Montreal, Canada. <<http://www.poac.com/PapersOnline.html>>
14. Kyung-Duk Park, Donghyeong Ko. New Ice Resistance Evaluation Technique Considering Hull form and Icebreaking Pattern for Arctic Vessels. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_064_Kyung-Duk.pdf>
15. V. A. Lobanov, V. S. Pershina. Visualization of CAE-solutions of partial problems of ice navigation. Vessels passing. Scientific Visualization, 2018, volume 10, number 1, pages 89 - 98, DOI: 10.26583/sv.10.1.07 <<http://sv-journal.org/2018-1/07/?lang=en>>
16. V. A. Lobanov. Visualization of CAE-solutions of partial problems of ice navigation. Icebreaker sitting and propulsion ability. Scientific Visualization, 2020, volume 12, number 1, pages 48 - 60, DOI: 10.26583/sv.12.1.04
17. Лобанов В.А. Влияние формы и посадки судна на распределение льдов в зоне его движительно-рулевого комплекса. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 61. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2019. – с. 176-182. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v61.pdf
18. Эксплуатационно-технические испытания транспортных и ледокольных судов в ледовых условиях с разработкой предложений, обеспечивающих их круглогодичную эксплуатацию. Отчёт о научно-исследовательской работе по теме №XV-3.2/794147. Научные рук. – Тронин В.А., Богданов Б.В. - Горький.: ГИИВТ, 1981. – 262 с.

ICE PROPULSION ABILITY OF VESSELS WITH NONTRADITIONAL FORM

Vasily A. Lobanov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. In article the fact related to the significant increase in structure of the ice category fleet internal and mixed a river sea operation with non-traditional ship hulls forms is stated. With the CAE technologies use such vessels interaction nature with ice cakes and small ice cakes of different thickness and concentration in the ice channel is studied and analyzed. The main attention is paid to a research concerning the influence of different forms bulbous fore ends on change of the vessel ice resistance level. Qualitative features of such bulbous vessels contact with the water ice environment are noted. The statistical analysis concerning the obtained experimental data on the impact assessment related to constructive, dynamic and ice factors on ice propulsion ability of vessels with non-traditional forms is carried out. The quantitative forecast of such influence in the form of the multifactorial regression empirical equation is given.

Keywords: ice conditions, ice transport operations, vessel, nasal bulb, ice performances, ice resistance, ice propulsion ability, CAE-system, finite element modeling

References:

1. Lobanov V.A. «Razrabotka s primeneniem CAE-sistem normativnyh dokumentov po bezopasnosti ledovogo plavaniya sudna» //Internet-zhurnal «Naukovedenie» (17) 2013: 1-14. <<http://naukovedenie.ru/PDF/71tvn413.pdf>>
2. Alexey Dobrodeev, Kirill Sazonov, Alexander Andryushin, Sergey Fedoseev, Sergey Gavrilov. Experimental Studies of Ice Loads on Pod Propulsors of IceGoing Support Shipp Proceedings of the

- 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_031_Dobrodeev.pdf>
3. Michael Lau. Friction Correction for Model Ship Resistance and Propulsion Tests in Ice. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_125_Michael.pdf>
4. Hoyoil Kim, Namkyun Im, Junji Sawamura. Experimental and Numerical Investigation of Ship-Ice Interactions in Pack Ice. Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_111_Hyoil.pdf>
5. Seong-Yeob Jeong, Jeong-Gil Yum, Eun-Jee Cheon, Kyungsik Choi. Ice Load Characteristics on a Model Ship Hull Installed with Tactile Sensor Panel Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_151_Eun-Jee.pdf>
6. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaya hodkost' sudov. 2 izdanie, ispravlennoe. – SPb.: Sudostroenie, 2014. – 504 p
7. Kashtelyan V.I., Poznyak I.I., Ryvlin A.YA. Soprotivlenie l'da dvizheniyu sudna. – L.: Sudostroenie, 1968. – 238 p
8. Tronin V.A. Povyshenie bezopasnosti i effektivnosti ledovogo plavaniya sudov na vnutrennih vodnyh putyakh: dissertatsiya na soiskanie uchyonoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk: special'nost' 05.22.16 – Sudovozhdenie / Gor'kij, 1990. – 414 p
9. Instrukciya. Trebovaniya k transportnym sudam, prednaznachennym dlya ekspluatatsii v ledovykh usloviyakh i pri otricatel'nykh temperaturah vozduha. RD 212.0148-87. Rukovodyashchij dokument po standartizatsii, gruppa T50. Utverzhdyon i vvedyon v dejstvie MRF RSFSR 27.11.1987 g. – L.: Transport, 1989. – 20 p
10. Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA. <<https://www.lstc.com/products/ls-dyna>>
11. Akihisa Konno, Akihiro Nakane, Satoshi Kanamori. Validation of numerical estimation of brash ice channel resistance with model test. Proceedings of the 22 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 9-13, 2013, Espoo, Finland. <http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_143.pdf>
12. Cheol ho Ryu, Hyun Soo Kim, Kyung Duk Park, Chun Ju Lee, Jae-Moon Lew. Development of ice resistance estimation system using empirical formula. Proceedings of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 9-13, 2013, Espoo, Finland. <http://www.poac.com/Papers/2013/pdf/POAC13_037.pdf>
13. Junji Sawamura, Ryouhei Kikuzawa, Takashi Tachibana, Masaya Kunigita. Numerical investigation of the ice Force Distribution around the Ship Hull in level Ice. Proceedings of the 21 International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions July 10-14, 2011, Montreal, Canada. <<http://www.poac.com/PapersOnline.html>>
14. Kyung-Duk Park, Donghyeong Ko. New Ice Resistance Evaluation Technique Considering Hull form and Icebreaking Pattern for Arctic Vessels Proceedings of the 24th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions June 11-16, 2017, Busan, Korea. <http://www.poac.com/Papers/2017/pdf/POAC17_064_Kyung-Duk.pdf>
15. V. A. Lobanov, V. P. Pershina. Visualization of CAE-solutions of partial problems of ice navigation. Vessels passing. Scientific Visualization, 2018, volume 10, number 1, pages 89 - 98, DOI: 10.26583/sv.10.1.07 <<http://sv-journal.org/2018-1/07/?lang=en>>
16. V. A. Lobanov. Visualization of CAE-solutions of partial problems of ice navigation. Icebreaker sitting and propulsion ability. Scientific Visualization, 2020, volume 12, number 1, pages 48 - 60, DOI: 10.26583/sv.12.1.04
17. Lobanov V.A. «Vliyanie formy i posadki sudna na raspredelenie l'dov v zone ego dvizhiteľno-rulevogo kompleksa». Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. (61) 2019: 176-182. <http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v61.pdf>
18. Ekspluatatsionno-tekhnicheskie ispytaniya transportnyh i ledokol'nyh sudov v ledovykh usloviyakh s razrabotkoj predlozhenij, obespechivayushchih ih kruglogodovuyu ekspluatatsiyu. Otchyot o nauchno-issledovatel'skoj rabote po teme №XV-3.2/794147. Nauchnye ruk. – Tronin V.A., Bogdanov B.V. - Gor'kij.: GIIVT, 1981. – 262 p

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лобанов Василий Алексеевич, д.т.н., доцент, доцент кафедры «Судовождение и безопасности судоходства», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, Россия, Нижний Новгород, Нестерова 5, e-mail: lobbas@mail.ru

Vasily A. Lobanov, Professor of Ship Handling and Navigation Safety Department, Associate Professor, Doctor of Technical Sciencies, Volga State University of Water Transport, 603950, Russia, Nizhny Novgorod, 5 Nesterov str

Статья поступила в редакцию 05.10.2020 г.

УДК 656.624.3.

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.139>

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ПРИБОРОВ ДЛЯ ТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ОСАДКИ СУДОВ

А.И. Телегин

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

А.О. Ничипорук

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7763-2829>

А.Г. Мальшкин

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В статье обосновывается актуальность повышения точности определения массы груза по осадке судна с целью повышения экономической эффективности эксплуатации судов, для чего предлагается установка на суда дистанционных осадкомеров, а также предложены расчеты эффективности по внедрению приборов для измерения осадки судов и их применению на практике. Проведенный анализ показал, что при использовании традиционных способов определения осадки существует весьма значительная погрешность измерений, негативно влияющая на качество перевозок и достоверность определения массы груза. Авторами представлена методика определения экономической эффективности оборудования судов дистанционными осадкомерами. На контрольных примерах, выполненных для условий перевозки различных грузов на конкретных линиях, показана ожидаемая эффективность использования дистанционных осадкомеров по сравнению с традиционными способами определения осадки судна. Согласно полученных результатов, окупаемость установки осадкомеров на судах наступает для низкотарифицированных грузов в течение пяти рейсов, для более дорогостоящих и высокотарифицированных грузов – уже за первый рейс.

Ключевые слова: речной транспорт, дистанционные осадкомеры, определение массы груза

Введение

При транспортировании грузов на водном транспорте широко используется определение массы груза по осадке судна. Существуют различные рекомендации и требования к организации и осуществлению основных этапов, расчету параметров, учитываемых в данном способе. Причем на речном транспорте определение массы груза по осадке судна осуществляется в соответствии с Кодексом внутреннего водного транспорта и правилами перевозки грузов [1, 2]. На морском транспорте работы по определению массы груза в судне и соответствующие расчеты (драфт-сюрвей) производятся в соответствии с международными рекомендациями [3-5]. На обоих видах транспорта, указанных выше, в расчетах в качестве основных показателей используются: величина осадки судна до начала и после окончания грузовых работ, масса балласта, топлива, судовых запасов.

В соответствии с нормативными положениями точность измерений и погрешности их проведения должны составлять не более 0,5% от общей массы груза. Выполненные на морском и речном транспорте исследования указывают на то, что суще-

ствующая система, используемая для проведения измерений (документально и технически), не обеспечивает требуемой точности [6, 7]. При этом значения погрешности при определении массы груза зависят от целого спектра различных факторов и могут находиться в интервале от -4,0 до +4,0% [7-10].

В пунктах погрузки-выгрузки грузов по указанной причине, как правило, обнаруживаются излишки или недостача груза. В практической деятельности портов наиболее часто (до 70-80%) наблюдаются случаи завышения массы грузов по сравнению с их реальной величиной, что отрицательно сказывается на выполнении договорных обязательств судоходных компаний, снижении качества перевозок и экономических показателей. Таким образом, существует актуальная необходимость в совершенствовании данного способа определения массы груза.

Рассмотрим проблему обеспечения более высокой достоверности замеров осадки судна. При существующем (глазомерном) способе фиксирования величины осадки судна получить точное и соответствующее действительности значение в ряде случаев не представляется возможным из-за влияния целого ряда факторов. Согласно работы [6], суммарная ошибка при визуальном определении величины осадки судна составляет 1-2 см, а в зависимости от размерений и грузоподъемности судна достигает 20-80 т и более. В отдельных работах отмечается, что опытный специалист, производящий измерения при благоприятных гидрометеорологических условиях, на основании судовой документации, полностью отражающей все технические и конструктивные особенности судна, может выполнить работу с высокой точностью измерений [11, 12]. Однако необходимо отметить, что в реальной практике перевозок грузов водным транспортом обеспечить идеальные указанные условия для измерения судовых осадок и проведения последующих расчетов трудно достижимо.

В ряде зарубежных работ предлагается для повышения качества результатов визуального определения осадок использовать вспомогательные средства, программные комплексы и технические решения (например, оптические сенсоры, видеоаппаратуру и др.) [13-17]. Однако большинство из этих предложений не прошли должной апробации либо могут использоваться при ряде допущений (отсутствие волнения, установка лицензионного программного обеспечения). Также отсутствуют достоверные данные о повышении точности проводимых измерений и результаты сравнения с традиционными способами определения осадки.

Относительно высокая точность определения массы груза на борту судна достигается на морском флоте с помощью специальных технических средств – дистанционных осадкомеров [18]. Достоинством использования дистанционных осадкомеров является: оперативное и быстрое получение информации о посадке судна во время его эксплуатации; принятие мер по обеспечению необходимой остойчивости судна; предотвращение чрезвычайных ситуаций вследствие потери остойчивости, появления дифферента или нежелательного крена судна [19, 20]. На речном транспорте подобными средствами не оснащены даже грузовые самоходные суда современной постройки, соответственно такое положение приводит к снижению точности измерений и, как следствие, к увеличению погрешности в расчетах. При этом суда, как правило, загружаются со значительным превышением или занижением массы отправляемых грузов.

Методика определения эффективности оборудования судов осадкомерами

Целесообразность оборудования дистанционными осадкомерами грузовых судов на речном транспорте по сравнению с использованием традиционного визуального способа определения осадок, с учетом относительно невысокой грузоподъемности судов (по сравнению с морским флотом) и низкой стоимости перевозимых грузов, требует дополнительного обоснования. Для этой цели предлагаются следующие методические положения.

Экономическая эффективность оборудования речных судов дистанционными осадкомерами (D_{pc}) на одно судно с учетом затрат на их приобретение и установку составит:

$$D_{pc} = \sum_i^m \Delta\Pi_{di} - C_d, \quad (1)$$

где $\Delta\Pi_{di}$ – экономический эффект от оснащения судна дистанционными осадкомерами за i -ый рейс, руб;

C_d – стоимость дооборудования судна дистанционными осадкомерами, включая приобретение и установку, руб;

m – количество рейсов за навигацию, ед.

Экономический эффект от оснащения судна дистанционными осадкомерами по сравнению с традиционным способом определения осадки будет определяться:

$$\Delta\Pi_d = \Xi_0 - \Xi_d, \quad (2)$$

где Ξ_0 , Ξ_d – потери судоходной компании соответственно без и при использовании осадкомеров, возникающие из-за потерь фрахта за недогруз судна и штрафа за недостачу груза, руб.

Затраты на оборудование судна дистанционными осадкомерами составят:

$$C_d = (\Pi_{пр} + \Pi_y) \times n_{пр}, \quad (3)$$

где $\Pi_{пр}$ – цена одного дистанционного осадкомера, руб;

Π_y – стоимость работ по установке одного дистанционного осадкомера на судно, руб;

$n_{пр}$ – количество осадкомеров, необходимых на судне, ед.

Потери судоходной компании соответственно без использования осадкомеров, возникающие из-за потерь фрахта за недогруз судна и штрафа за недостачу груза, предлагается определять по выражению:

$$\Xi_0 = (G_0 - G_{ey})(\Pi_r + T_r), \quad (4)$$

где G_0 – недостача груза, образующаяся при использовании в расчетах данных традиционного (визуального) способа, т;

G_{ey} – величина недостачи груза в соответствии с нормами естественной убыли (перевозчик освобождается от ответственности), т;

Π_r – цена груза, руб/т;

T_r – провозная плата, руб/т.

$$G_{ey} = \frac{G_r \times N_{ney}}{100}, \quad (5)$$

где G_r – количество груза, принятое к перевозке и указанное в соответствующих транспортных документах, т;

N_{ney} – норма убыли, устанавливающая размер допустимых естественных потерь груза, в пределах которого перевозчик не несет ответственности за недостачу груза, %.

Суммарные потери судоходной компании при оборудовании судов осадкомерами предлагается определять по выражению:

$$\Xi_d = (G_d - G_{ey})(\Pi_r + T_r), \quad (6)$$

где G_d – величина недостачи груза, полученная при расчете количества груза по данным осадкомеров, т.

При условии $G_{ey} \geq G_d$, судоходная компания освобождается от ответственности за недостачу груза, в этом случае экономические потери судовладельца отсутствуют.

Подставив в (2) значения из (4) и (6) и проведя преобразования, получим:

$$\Delta\Pi_d = (G_0 - G_d)(\Pi_r + T_r). \quad (7)$$

На основании изложенных выше методических положений проведены расчеты по определению эффективности применения дистанционных осадкомеров, результаты которых приведены в табл. 1 и показаны на рис. 1.

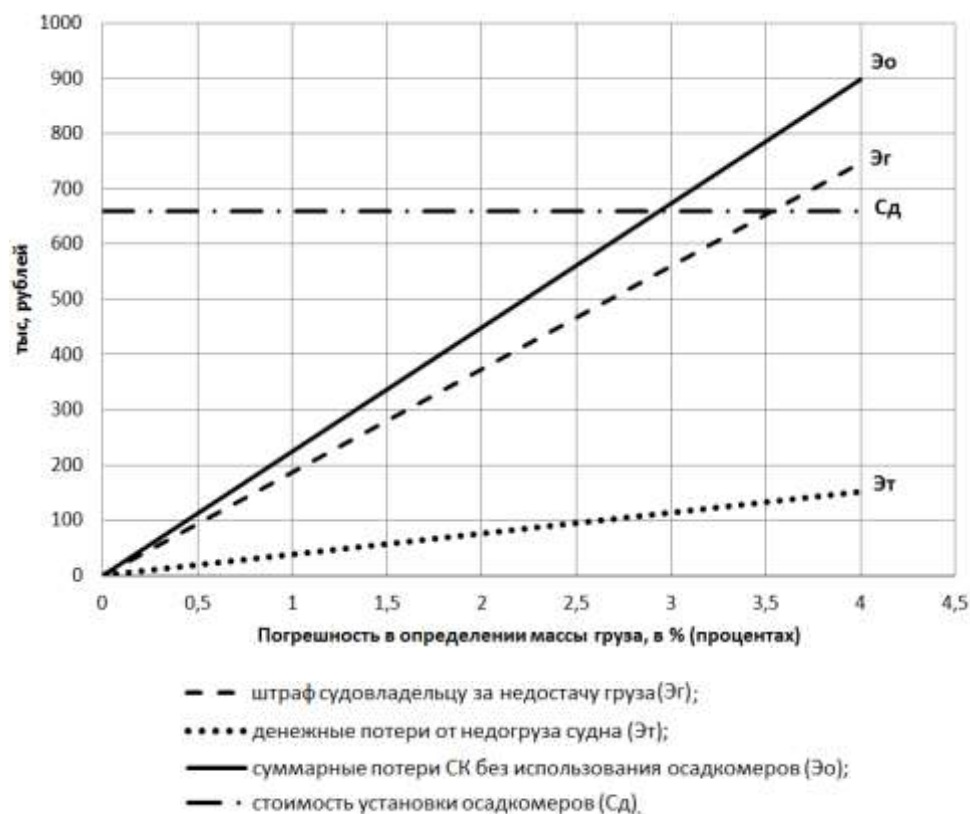


Рис. 1. Затраты по оснащению судна дистанционными осадкомерами и зависимость дополнительных расходов перевозчика за один рейс от точности определения массы груза при транспортировании серы по маршруту Бузан – Кавказ

Таблица 1

Показатели применения дистанционных осадкомеров в зависимости от рода груза, линии перевозки и количества рейсов

Показатель	Груз (линия перевозки)					
	щебень (Онежское озеро – Нижний Новгород)		сера (Бузан – Кавказ)		сульфат аммония (Тольятти – Астрахань)	
	$G_{ev} \geq G_d$	$G_{ev} < G_d$	$G_{ev} \geq G_d$	$G_{ev} < G_d$	$G_{ev} \geq G_d$	$G_{ev} < G_d$
Размер провозной платы, руб/т	650		710		740	
Цена груза, руб/т	1100		3500		10620	
Масса партии груза, т	2950		5332		4000	
Эффективность применения осадкомеров за один рейс, тыс. руб./рейс	154,9	180,7	673,4	785,7	1363,2	1590,4
Результат применения осадкомеров за вычетом стоимости закупки и оборудования, тыс. руб:						
за 1 рейс	-505,1	-479,3	13,4	125,7	703,2	930,4
за 5 рейсов	114,4	243,4	2707,2	3268,4	6156,0	7292,0
за 10 рейсов	888,8	1146,9	6074,3	7196,7	12972,0	15244,0

Суммарные потери судоходных компаний при использовании традиционного (визуального) способа определения массы груза по осадке судна значительно выше затрат на установку дистанционных осадкомеров. При этом перевозка дорогостоящих грузов характеризуется высокой окупаемостью приобретения и установки осадкомеров (в рассматриваемых примерах она достигается за один или несколько рейсов). Также за счет использования дистанционных осадкомеров будет повышаться точность определения массы груза в судне в портах отправления и назначения, исключены штрафы за недостачу грузов и появится возможность получения судовладельцем дополнительного дохода. Графическая иллюстрация эффективности использования осадкомеров представлена на рис. 2.

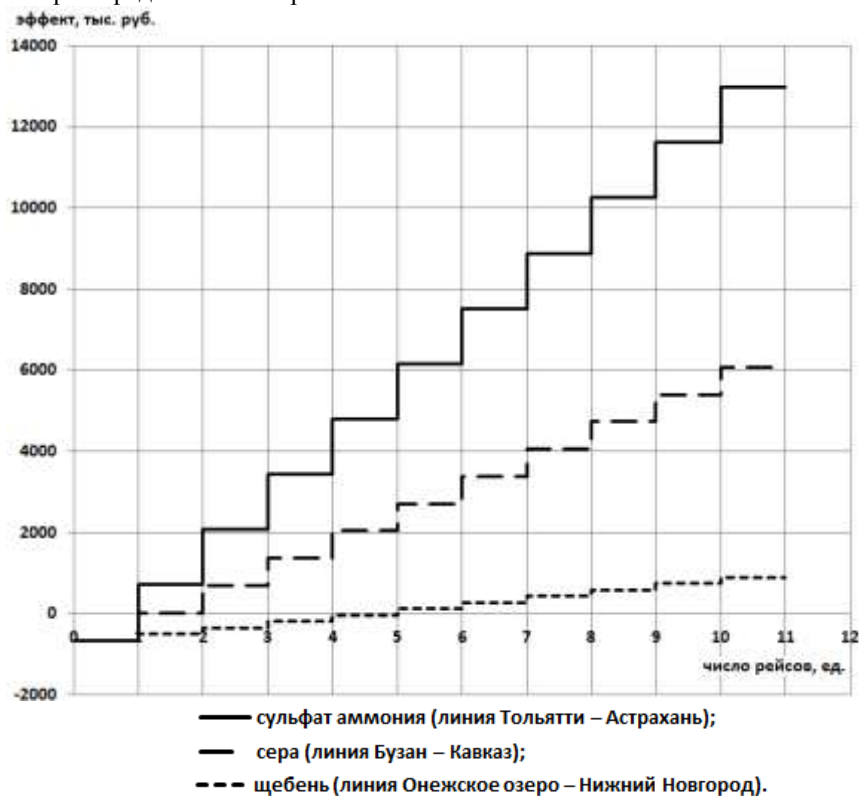


Рис. 2. Эффект использования осадкомеров судоходной компанией в зависимости от количества осуществленных рейсов и вида перевозимого груза

Заключение

Таким образом, финансовые вложения судовладельцев в дооборудование дистанционными осадкомерами грузовых теплоходов внутреннего водного транспорта будут иметь высокую окупаемость и улучшенные производственно-экономические показатели. Повышение точности измерения массы перевозимых грузов в речных судах значительно увеличит статус судоходных компаний при транспортном обслуживании грузовладельцев.

Список литературы:

1. Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации. Федеральный закон №24-ФЗ от 7 марта 2001 г. (ред. от 08.06.2020) / Режим доступа: <http://base.consultant.ru>.

2. Правила перевозок грузов (речной транспорт), ч. I. – Н. Новгород: ТОО «Фора», 1994. – 285 с.
3. ECE/ENERGY/19 – Code of uniform standards and procedures for the performance of draught surveys of coal cargoes. Economic Commission for Europe, United Nations. – 1992. – Режим доступа: http://www.unecce.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/ece_energy_19r.pdf.
4. Measurement of Cargo Loaded by Draft Survey. BCP/J/5616. – Burness Corlett & Ptns. (IOM) Ltd., 1995. – 22 p.
5. Weighting Rules. No.123. – London: GAFTA, 2012. – 123 p.
6. Разработка научно-обоснованных предложений по структуре и содержанию методики расчёта массы погруженного и выгруженного груза по осадкам судна (драфт-сюрвей). Отчет по НИР. Государственный контракт № РТМ – 186/16 от 30 сентября 2016 г. № госрегистрации АААА-А16-116110310047-5. СПб: ГУМРФ, 2016. – 130 с.
7. Бимбереков П.А. Исследование точности определения значений по шкале осадок с применением фото и видеосъемки / П.А. Бимбереков, В.Д. Звонков // «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока». – 2014. – №1-2. – С. 169–173.
8. Денисов Н.И. Исследование и совершенствование методов определения массы навалочных грузов на речном транспорте: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19 / Н.И. Денисов. – Горький, ГИИВТ, 1980. – 25 с.
9. Телегин А.И. Качество и эффективность перевозок сухогрузов. Методы и результаты исследований за 1970-2000 годы : монография / А.И. Телегин [и др.]. – Н. Новгород: ВГАВТ, 2002. – 299 с.
10. Телегин А.И. Проблема определения массы навалочных грузов по осадке судна / А.И. Телегин, А.О. Ничипорук, В.Н. Шабров // Речной транспорт (XXI век). – 2013. – №4. – С. 83–86.
11. Ермаков С.В. Оценка расхождения масс принятого и сданного грузов при определении массы по осадкам (методом драфт-сюрвея) / С.В. Ермаков, И.В. Якута. – Морские интеллектуальные технологии. – №4 (42). – Т.3. – 2018. – С. 103–108.
12. Якута И.В. Оценка расхождения масс принятого и сданного грузов при определении массы по осадкам (методом драфт-сюрвея) / И.В. Якута, С.В. Ермаков. – Вестник МГТУ. – Т.19. – №4. – 2016. – С. 822–829. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-4-822-829.
13. Assessing Risk of Draft Survey by AHP Method / Guangcheng Xu, Kuimin Zhao, Zhaoying Zuo, Gang Liu, Binguo Jian, Yan Lin, Yukun Fan, and Fei Wang // Advances in Materials, Machinery, Electronics II. AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2018. <https://doi.org/10.1063/1.5033696>.
14. Domnişoru L. On the software drswin designed for barges Draught survey processing / L. Domnişoru, F. Păcuraru, A. Modiga // Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati. Fascicle XI. – Shipbuilding. Galati University Press, 2016. – Pp. 11-18.
15. Gu H.W. Digital Measurement System for Ship Draft Survey / H.W. Gu, W. Zhang, W.H. Xu // Applied Mechanics & Materials. – 2013. – Pp. 333-335; 312-316.
16. Ivče R. Ship’s cargo handling system with the optical fiber sensor technology application / R. Ivče, I. Jurdana, S. Kos // Scientific Journal of Maritime Research. – 2014. – 28. – Pp. 118-127.
17. Tsujii T. Automatic draft reading based on image processing / T. Tsujii, H. Yoshida, Y. Iiguni // Optical Engineering. – 2016. – №55(10). – Pp. 104-104. <https://doi.org/10.1117/1.OE.55.10.104104>.
18. Телегин А.И. Опыт применения дистанционных осадкомеров на морских грузовых судах, технико-экономические и коммерческие требования их применения на речных грузовых судах / А.И. Телегин, А.О. Ничипорук, В.Н. Шабров // Вестник ВГАВТ. Выпуск 35. – Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. – С. 312–316.
19. Алексеев С.В. Автоматизированный контроль фактической остойчивости судов при плавании в ледовых и штормовых условиях / С.В. Алексеев, А.А. Поляшов. – Транспорт Российской Федерации. – №4 (59). – 2015. – С. 60–62.
20. Чурин М.Ю. Разработка единого подхода к формированию типовых вариантов загрузки судов речного флота / М.Ю. Чурин // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». Том 7. – №2. – 2015. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/47TVN215.pdf>. DOI: 10.15862/47TVN215.

**METHOD OF DETERMINING EFFICIENCY DURING
IMPLEMENTATION OF INSTRUMENTS FOR ACCURATE
MEASUREMENT OF SHIP DRAUGHT**

Anatoly I. Telegin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Andrey O. Nichiporuk

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Alexander G. Malyshkin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article justifies the relevance of improving the accuracy of determining the weight of cargo by draught of a vessel in order to increase the economic efficiency of the operation of ships. The authors propose to install remote draught meters on ships, and offer efficiency calculations for the introduction of devices for measuring the draught of ships and their application in practice. The analysis showed that, using traditional methods of draught determination, there is a very significant measurement error that negatively affects the quality of transportation and the reliability of determining the mass of the cargo. The authors present the methodology for determining the economic efficiency of ship equipment with remote draught meters. On test cases, performed for the conditions of transportation of various cargoes on specific lines, the expected efficiency of using remote draught meters is shown in comparison with traditional methods for determining the ship's draft. According to the results obtained, the payback of the installation of draught meters on ships for low tariff cargoes occurs during five voyages, for more expensive and high tariff cargoes during the first voyage.

Keywords: river transport, remote draught meters, determination of cargo weight

References:

1. Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации. Федеральный закон №24-ФЗ от 7 марта 2001 г. (ред. от 08.06.2020). <http://base.consultant.ru>.
2. Правила перевозок грузов (реальной транспорт), ч. I. N. Novgorod: TOO «Fora», 1994. 285 p.
3. ECE/ENERGY/19 – Code of uniform standards and procedures for the performance of draught surveys of coal cargoes. Economic Commission for Europe, United Nations. 1992. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/ece_energy_19r.pdf.
4. Measurement of Cargo Loaded by Draft Survey. BCP/J/5616. Burness Corlett & Ptns. (IOM) Ltd., 1995. 22 p.
5. Weighting Rules. No.123. London: GAFTA, 2012. 123 p.
6. Разработка научно-обоснованных предложений по структуре и содержанию методики расчёта массы погрузенного и выгруженного груза по осадкам судна (draft-сырвей). Отчет по НИР. Государственный контракт № RTM – 186/16 от 30 сентября 2016 г. № госрегистрации АААА-А16-116110310047-5. SPb: GUMRF, 2016. 130 p.
7. Bimberekov P.A., Zvonkov, V.D. Исследование точности определения значений по шкале осадок с применением фото и видеосъемки. *Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока* 1-2 (2014): Pp. 169–173.
8. Denisov N.I. Исследование и совершенствование методов определения массы навалочных грузов на речном транспорте: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19. – Гorkij, GIIVT, 1980. 25 p.
9. Telegin A.I. Качество и эффективность перевозок сухогрузов. Методы и результаты исследований за 1970-2000 годы : монография. N. Novgorod: VGAVT, 2002. 299 p.
10. Telegin A.I., Nichiporuk A.O., SHabrov, V.N. Проблема определения массы навалочных грузов по осадке судна. *Реальной транспорт (XXI век)* 4 (2013): Pp. 83–86.
11. Ermakov S.V., Yakuta I.V. Оценка рaskhozhdения масс принятого и сданного грузов при определении массы по осадкам (методом draft-сырвей). *Морские интеллектуальные технологии* 4 (42) (2018): Pp. 103–108.
12. Yakuta I.V., Ermakov S.V. Оценка рaskhozhdения масс принятого и сданного грузов при определении массы по осадкам (методом draft-сырвей). *Vestnik MGTU* 4 (2016): Pp. 822–829. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-4-822-829.
13. Guangcheng Xu, Kuimin Zhao, Zhaoying Zuo, Gang Liu, Binguo Jian, Yan Lin, Yukun Fan, and Fei Wang. Assessing Risk of Draft Survey by AHP Method. *Advances in Materials, Machinery, Electronics*. AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2018. <https://doi.org/10.1063/1.5033696>.

14. Domnişoru L., Păcuraru F., Modiga A. On the software drswin designed for barges Draught survey processing. *Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati*. Fascicle XI. – Shipbuilding. Galati University Press, 2016. Pp. 11-18.
15. Gu H.W. Digital Measurement System for Ship Draft Survey / H.W. Gu, W. Zhang, W.H. Xu // *Applied Mechanics & Materials* (2013): Pp. 333-335; 312-316.
16. Ivče R., Jurdana I., Kos S. Ship's cargo handling system with the optical fiber sensor technology application. *Scientific Journal of Maritime Research* 28 (2014): Pp. 118-127.
17. Tsujii T., Yoshida H., Iiguni Y. Automatic draft reading based on image processing. *Optical Engineering* 55(10) (2016): Pp. 104-104. <https://doi.org/10.1117/1.OE.55.10.104104>.
18. Telegin A.I., Nichiporuk A.O., SHabrov V.N. Opyt primeneniya distancionnyh osadkometerov na morskikh gruzovyh sudah, tekhniko-ekonomicheskie i kommercheskie trebovaniya ih primeneniya na rechnyh gruzovyh sudah. *Vestnik VGAVT* 35 (2013): Pp. 312–316.
19. Alekseev S.V., Polyashov A.A. Avtomatizirovannyj kontrol fakticheskoj ostojchivosti sudov pri plavanii v ledovyh i shtormovyh usloviyah. *Transport Rossijskoj Federacii* 4(59) (2015): Pp. 60–62.
20. Churin M.Y. Razrabotka edinogo podhoda k formirovaniyu tipovyh variantov zagruzki sudov rechnogo flota. *Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE»* 2 (2015). <http://naukovedenie.ru/PDF/47TVN215.pdf>. DOI: 10.15862/47TVN215.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Телегин Анатолий Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г.Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kafedra-lim@yandex.ru

Anatoly I. Telegin, , Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University, Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Ничипорук Андрей Олегович, д.т.н., доцент, профессор кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г.Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: nichiporouk@rambler.ru

Andrey O. Nichiporuk, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Малышкин Александр Георгиевич, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник кафедры управления транспортом, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г.Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kaf_ut@vsuwt.ru

Alexander G. Malyshkin, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of the Department of Transport Management, Volga State University, Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 25.10.2020 г.

УДК 656.62.052.4

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.137>

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К НАТУРНЫМ МЕТОДАМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОСАДКИ СУДНА

М.Ю. Чурин

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Ю.В. Бажанкин

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8720-218X>

Аннотация. В данной статье определена необходимость учета просадки судна при определении запаса воды под килем, рассмотрены существующие отечественные и зарубежные методы определения просадки. Выполнен обзор натуральных методов определения просадки судна с помощью глобальных навигационных спутниковых систем, а также проанализированы источники возникновения погрешностей в таких методах и выполнена оценка величин этих погрешностей. Выполнено обоснование необходимости адаптации натуральных методик для условий внутренних водных путей на участке Городец – Кстово, с учетом возможностей глобальных навигационных спутниковых систем, а также гидрологических особенностей данного района плавания. Определены параметры, которые должны быть измерены в процессе натуральных испытаний с целью уточнения теоретических методов.

Ключевые слова: натурные испытания, теоретически метод определения, динамическая просадка, высота по спутниковым навигационным системам, точность определения высоты по спутниковым навигационным системам, точность определения глубин, точность определения скорости относительно воды

Введение

Учет динамической просадки судна имеет важное значение в обеспечении безопасности плавания. Это отражено в международных нормативных документах, регламентирующих процесс судовождения:

- Резолюция ИМО А.893(21) Руководство по планированию рейса от 25.11.1999;
- Международная конвенция ПДНВ 78/2010, глава VII, раздел A VIII/2.

Так же о необходимости учета динамической просадки свидетельствует статистика аварийности. Согласно источника [1] в период с 1987 по 2004 произошло 12 крупных инцидентов, связанных с неучетом или ошибками в учете явления динамической просадки судна. Причем со временем количество таких происшествий неуклонно растет. Так, по данным приведенным в [2] в 2007 году количество аварийных случаев достигло 82. Примечателен случай с круизным судном Queen Elizabeth II. В результате пренебрежения динамической просадкой судно село на мель, что повлекло за собой убытки в размере 12 миллионов долларов США на ремонт судна и 50 миллионов долларов из-за отзыва путевок пассажирами.

В настоящей статье рассмотрен эффект динамической просадки судна в условиях внутренних водных путей. Условия плавания судна на ВВП можно разделить на три случая: плавание на неограниченном мелководье, плавание в условиях прорези на перекате и плавание в условиях судоходных каналов. Схемы таких условий приведены на рис.1.

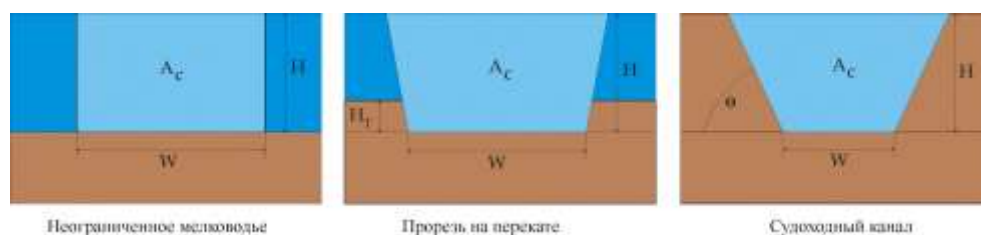


Рис.1. Условия плавания на ВВП.

На рис.1. обозначены:

A_c - площадь сечения канала или ходовой полосы, м²;

H - глубина ходовой полосы, м.;

H_T - глубина прорези, м.;

W - ширина донной части канала или ходовой полосы, м.;

Θ - угол наклона стенки канала, рад.

В настоящее время в отечественной практике приняты два подхода к нахождению условий начала влияния мелководья. Первый подход, согласно [3] заключается в определении глубины, на которой начинают действовать условия мелководья.

$$H_{\text{гл}} \leq 4T_{\text{ср}} + \frac{3v^2}{g}, \quad (1)$$

где $H_{\text{гл}}$ - глубина, м;

$T_{\text{ср}}$ - средняя осадка судна, м;

v - скорость судна, м/с;

g - ускорение свободного падения, 9,81 м/с².

Другим подходом [4], является определение числа Фруда по глубине, как критерия мелководья.

$$Fr_H = \frac{v}{\sqrt{gH}} \quad (2)$$

Согласно источника [5] при значении $Fr_H < 0,6$ влиянием мелководья можно пренебречь.

Расчетные методы определения динамической просадки судна

В настоящее время существует большое количество расчетных методов определения динамической просадки. Часть из них рассматривалась автором настоящей статьи в публикации [6]. Это метод В.Г. Павленко, метод А.М. Полунина, метод П.Н. Шанчурова, метод Г.И. Сухомела, метод С.Б. Барасса и метод ВГАВТ.

Кроме того, существуют другие методики определения динамической просадки судна, которые будут рассмотрены ниже.

1. Модель Анкудинова

В соответствии с [2] модель была изначально разработана Анкудиновым и Якобсеном в 1996 году и была уточнена в 2000 году на основе полученных натуральных данных. Результаты были опубликованы в сборнике MARSIM 2000 [7]. Данный метод

внедрен для использования в математической модели судна в тренажере The Coastal and Hydraulics Laboratory's Ship Tow Simulator, Висксбург США.

Данный метод может использоваться при значениях числа Фруда по глубине $Fr_H \geq 0,6$. Максимальная просадка судна (S_{\max}) является функцией коэффициента просадки по мидель-шпангоуту (S_m) и дифферента судна и определяется по выражению:

$$S_{\max} = \begin{cases} S_b \\ S_s \end{cases} = \begin{cases} L_{pp} (S_m - 0,5 \cdot Tr) \\ L_{pp} (S_m + 0,5 \cdot Tr) \end{cases}, \quad (3)$$

где S_b – просадка носовой оконечности, м.;

S_s – просадка кормовой оконечности;

L_{pp} – конструктивная длина, м.;

Tr – коэффициент дифферента.

Коэффициент просадки судна по мидель-шпангоуту может быть определена как:

$$S_m = (1 + K_P^S) \cdot P_{Hu} \cdot P_{FrH} \cdot P_{H/T} \cdot P_{+chl}, \quad (4)$$

где K_P^S – коэффициент влияния винта;

P_{Hu} – коэффициент влияния корпуса на мелководе;

P_{FrH} – коэффициент влияния скорости судна;

$P_{H/T}$ – коэффициент влияния глубины;

P_{+chl} – коэффициент влияния канала.

Данные коэффициенты определяются по выражениям:

$$K_P^S = \begin{cases} 0,15 & \text{одновинтовое судно} \\ 0,13 & \text{двухвинтовое судно} \end{cases}. \quad (5)$$

$$P_{Hu} = 1,7 \cdot \delta \cdot \left(\frac{B \cdot T}{L_{pp}^2} \right) + 0,004 \cdot \delta^2, \quad (6)$$

где B – расчетная ширина судна, м.;

T – осадка судна, м.;

δ – коэффициент полноты водоизмещения;

$$P_{FrH} = Fr_H^{(1,8+0,4 \cdot Fr_H)}. \quad (7)$$

$$P_{H/T} = 1,0 + \frac{0,35}{\left(\frac{H}{T} \right)^2}. \quad (8)$$

Коэффициент влияния канала используется при расчете просадки в условиях прорези на перекате, в условиях судоходного канала и определяется по формуле:

$$P_{ch1} = 1,0 + 10 \cdot S_H - 1,5 \cdot (1,0 + S_H) \cdot \sqrt{S_H}, \quad (9)$$

где S_H – коэффициент влияния глубины канала.

Коэффициент влияния глубины канала определяется по выражению:

$$S_H = \delta \cdot \left(\frac{S}{H/T} \right) \cdot \left(\frac{H_T}{H} \right), \quad (10)$$

где $S = \frac{A_s}{A_c}$ – коэффициент стеснения канала;

$A_s = \beta \cdot T \cdot B$ – площадь сечения мидель-шпангоута, м.;

H_T – глубина прорези, м..

В формулу для расчета коэффициента дифферента кроме упомянутых выше коэффициентов влияния корпуса и скорости входят параметры, учитывающие влияние судовых винтов, наличия бульба и формы кормовой оконечности. Коэффициент дифферента судна определяется по выражению:

$$Tr = -1,7 \cdot P_{Hu} \cdot P_{FrH} \cdot P_{H/T} \cdot k_{Tr} \cdot P_{ch2}, \quad (11)$$

где $P_{H/T}$ – коэффициент, учитывающий влияние винта на дифферент на мелководе;

k_{Tr} – коэффициент дифферента;

P_{ch2} – поправка дифферента из-за влияния канала.

Для расчета вышеприведённых параметров используются выражения (12), (13), (14).

$$P_{H/T} = 1 - e^{-\left[\frac{2,5 \cdot (1 - H/T)}{FrH} \right]}. \quad (12)$$

$$k_{Tr} = \delta^{n_{Tr}} - (0,15 \cdot k_p^S + k_p^T) - (k_B^T + k_{Tr}^T + k_{T1}^T). \quad (13)$$

Здесь: $n_{Tr} = 2,0 + 0,8 \cdot \frac{P_{ch1}}{\delta}$;

$$k_p^T = \begin{cases} 0,15 & \text{одновинтовое судно} \\ 0,20 & \text{двухвинтовое судно} \end{cases};$$

$$k_B^T = \begin{cases} 0,1 & \text{судно с бульбом} \\ 0,0 & \text{судно без бульба} \end{cases};$$

$$k_{Tr}^T = \begin{cases} 0,04 & \text{транцевая кормовая оконечность} \\ 0,0 & \text{обычная оконечность} \end{cases};$$

$$k_{T1}^T = \frac{(T_a - T_f)}{(T_a + T_f)};$$

где T_a, T_f - статические осадки соответственно кормой и носом;

$$P_{ch2} = 1,0 - 5 \cdot S_H.$$

Данный метод является довольно громоздким, так как авторы сделали попытку учесть максимальное количество параметров, влияющих на величину динамической просадки судна. Проверка данного метода на возможность применения к судам смешанного река – море плавания будет произведена в дальнейших исследованиях.

2. Метод Хууска - Гулиева

Данный метод был разработан Ю. Гулиевым и О. Хууска [8], [9] и имеет существенные ограничения в использовании: применим только для судоходных каналов; определяется только динамическая просадка носовой части судна. В основе лежит следующее выражение:

$$S_b = \frac{2,4 \cdot \delta \cdot B \cdot T}{L_{pp}} \cdot \frac{Fr_H^2}{\sqrt{1 - Fr_H^2}} \cdot k_s. \quad (14)$$

Поправочный коэффициент определяется по формуле:

$$k_s = \begin{cases} 7,45 \cdot S + 0,76 & \text{если } S > 0,03 \\ 1,0 & \text{если } S \leq 0,03 \end{cases}. \quad (15)$$

3. Метод Ерюзлу

Данная методика была разработана Н. Ерюзлу [10] и применяется для определения динамической просадки носовой части судна и применяется на неограниченном мелководье или прохождении прорезей на перекате. Методика используется Канадской береговой охраной для судов проходящих подходной канал реки Св. Лаврентия. Просадка определяется как:

$$S_b = 0,298 \cdot \frac{H^2}{T} \cdot \left(\frac{v}{\sqrt{g \cdot T}} \right)^{2,289} \cdot \left(\frac{H}{T} \right)^{-2,972} \cdot k_b, \quad (15)$$

где k_b – поправочный коэффициент, учитывающий соотношение ширины ходовой полосы или прорези и ширины судна.

Коэффициент определяется по формуле:

$$k_b = \begin{cases} \frac{3,1}{\sqrt{W/B}} & \text{если } \frac{W}{B} < 9,61 \\ 1 & \text{если } \frac{W}{B} \geq 9,61 \end{cases}.$$

4. Метод Рёмиша

Метод [11] Рёмиша был разработан для определения просадки судна в судоходном канале. В данном случае просадка определяется как:

$$S_s = C_V \cdot C_F \cdot k_{\Delta T} \cdot T. \quad (16)$$

Коэффициенты в этом выражении являются поправочными коэффициентами, являющимися функцией скорости судна C_V , формы обводов корпуса C_F и просадки при критической скорости $k_{\Delta T}$. Данные величины определяются по следующим формулам:

$$C_V = 8 \cdot \left(\frac{v}{v_{cr}} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{v}{v_{cr}} - 0,5 \right)^4 + 0,0625 \right];$$

$$C_F = \begin{cases} \left(\frac{10 \cdot B \cdot \delta}{L_{pp}} \right)^2 & \text{просадка носом;} \\ 1,0 & \text{просадка кормой.} \end{cases};$$

$$k_{\Delta T} = 0,155 \cdot \sqrt{\frac{H}{T}}$$

Критическая скорость судна в канале v_{cr} зависит от волновой скорости и формы сечения канала и определяется по выражению:

$$v_{cr} = \sqrt{g \cdot H_m} \cdot \left[2 \cdot \cos \left(\frac{\pi}{3} + \frac{\arccos(1-S)}{3} \right) \right]^{1,5},$$

где H_m – средняя глубина канала.

Натурные методы определения динамической просадки судна.

Все современные натурные методы определения динамической просадки судна основываются на использовании высокоточных спутниковых навигационных систем. Так как при использовании только космического сегмента СНС определение координат с достаточной для поставленной цели точностью невозможно, возникает потребность в корректирующих сигналах от наземных станций. Наиболее доступными способами получения поправок в районе Городец – Кстово являются:

- Широкозонная DGPS;
- Virtual Reference Station (VRS) (Network RTK);
- Real Time Kinematic (RTK)(Single-Base RTK).

Широкозонная DGPS позволяет получать поправки через спутниковые каналы связи и доступна практически по всему миру.

VRS и RTK используют схожие технологии и различаются каналами передачи поправок. В системе VRS поправки передаются с помощью сети Интернет, обычно по мобильным каналам передачи данных GSM и более поздних технологий. В качестве базовых станций используются установленные государственными органами или коммерческими организациями передатчики поправок в точках с координатами, определенными с высокой точностью.

В системе RTK поправки передаются по радио - каналу. В качестве базовой станции может использоваться DGPS приемодатчик, установленный в координатах, известных с высокой точностью. Такой приемодатчик называется «базовой стан-

цией». Приемники-потребители таких поправок называются «роверами» и выполняют непосредственные измерения. Роверы могут быть установлены на подвижных объектах

Первый способ обеспечивает точность измерения высоты 6-10 метров, второй и третий 0,015 метра [12] с вероятностью 95 %.

Очевидно, что достаточной точностью для измерения величины динамической просадки обладают VRS и RTK технологии.

Так, в 2018 году группой австралийских ученых были проведены натурные наблюдения в порту Фримантл [13]. Авторы использовали приемоиндикаторы GPS Javad GNSS Triumph-1 в качестве базовой станции и GPS Javad GNSS Triumph-2 в качестве роверов.

Базовая станция была установлена на пирсе лоцманской станции, в точке с координатами, известными с высокой точностью. Роверы размещены на носу и на правом и левом крыле мостика. Схема размещения роверов представлена на рис.2.

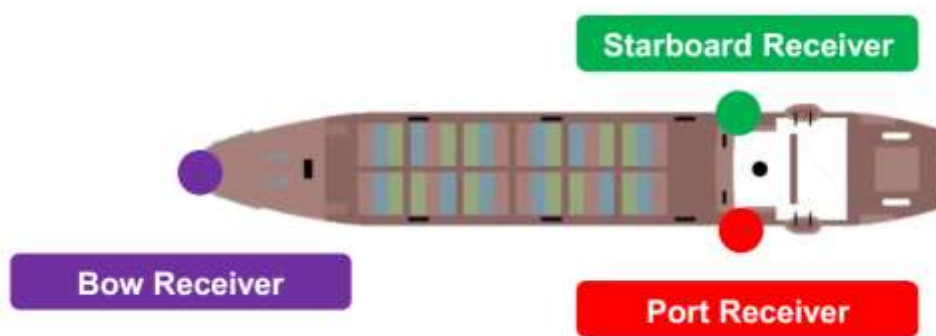


Рис.2. Схема размещения роверов.

Данная конфигурация позволяет с частотой 1 Гц фиксировать следующие параметры:

- просадку кормовой и носовой оконечностей;
- просадку на мидель-шпангоуте;
- динамическое изменение крена и дифферента судна.

При анализе результатов авторы определили источники и величины средних квадратических погрешностей измерений, которые приведены в табл..

Таблица

Источники и величины средних квадратических погрешностей измерений 1

Источники погрешностей	Величина СКП при 95 % вероятности, м.
Погрешности GPS приемоиндикаторах	0,012
Ошибки в используемом геоиде (AUSGeoid09)	0,030
Погрешности установки базовой станции	0,016
Погрешности датчика высоты прилива	0,010
Погрешности в интерполяции приливного уровня на определенный момент времени	0,010
Погрешности в определении приливного уровня из-за наклона поверхности моря на приливной волне	0,010
Суммарная	0,040

В ходе испытаний были выполнены измерения при прохождении подходного канала порта трех судов контейнеровозов водоизмещением около 90000 тонн. Как показывают авторы исследования, натурные измерения дают хорошую сходимость с теоретическими методами, в частности Хууска – Гулиева.

Следует отметить, что суда, используемые на ВВП РФ, отличаются от крупных морских судов как обводами корпуса, так и конфигурацией ДРК, что ставит вопрос о применимости существующих расчетных методов к таким судам. Результаты проверочных расчетов могут быть оценены только с позиции судоводительского опыта, и результаты такой оценки являются весьма субъективными. Исходя из этого, проведение натурных испытаний по определению динамической просадки судов является необходимым компонентом исследований в области количественного и качественного теоретического предсказания такого явления.

Адаптация натурных методов определения динамической просадки судна к условиям ВВП.

Очевидно, что для обеспечения достаточной точности измерения высот необходимо применять VRS или RTK системы получения дифференциальных поправок. На участке р. Волга от Городца до Кстово доступны оба метода. Рассмотрим варианты применения обеих систем.

Система VRS.

В настоящее время на территории Нижегородской области действует коммерческая система NIVE [14] с обширным покрытием зон действия базовых станций. На рис.3. приведена карта зон покрытия в этом регионе. Более темным цветом обозначены зоны доступности дифференциальных поправок. Передача поправок потребителю осуществляется по каналам сотовой связи. В Нижнем Новгороде находятся три базовых станции и одна базовая станция в Кстово. Стоимость услуги 350 руб./день. Поскольку приемники СНС подобного класса точности имеют высокую стоимость (например стоимость Javad GNSS Triumph-1 составляет около 190000 тысяч рублей), более выгодно было бы рассматривать вопрос аренды подобного оборудования. Стоимость аренды одного комплекта (СНС приемник и периферийное оборудование) составляет 4000 руб./день [15]. В соответствии со схемой на рис.2. необходимо наличие трех комплектов.

Система RTK.

Для использования подобной конфигурации не требуется платной подписки для передачи дифференциальных поправок, в качестве базовой станции может выступать преоиндикатор соответствующей конструкции, установленный в точке с координатами, измеренными с высокой точностью. Так как для большинства гидросооружений была проведена высокоточная геодезическая съёмка, такие сооружения могут использоваться для установки базовой станции. В этом случае необходима установка трех комплектов роверов на судне и установка базовой станции. Использование данной системы убирает зависимость от наличия сотовой сети передачи данных, однако накладывает ограничения по удалению роверов от базовой станции. Так удаление на 12 километров ухудшает точность с 0,015 м. до 0,027 м.

Источники погрешностей

При адаптации методики к условиям ВВП путем отказа от выполнения измерений относительно абсолютного нуля высот возможно избавиться от ряда источников погрешностей. Так, если за ноль высот брать текущее положение преоиндикатора СНС в момент начала опыта, а затем при обработке использовать изменения высот, а не

сами высоты, то можно не принимать во внимание погрешности от используемого геоида, погрешности установки базовой станции, погрешности гидрологических датчиков измерения уровня воды. Однако погрешности в определении уклона уровня воды в реке останутся.



Рис.3. Карта покрытия сервиса NIVE.

Регистрация дополнительных параметров

Для построения адекватной математической модели динамической просадки судна по результатам натурных наблюдений необходима запись дополнительных параметров. Важнейшими из них являются значения мгновенной глубины и скорости судна, синхронизированные с записями высот с приемников СНС.

Глубина с достаточной точностью может определяться с помощью штатного навигационного эхолота. Погрешность измерений современных приборов составляет 2,5 % от используемой шкалы. Для настоящих целей такая точность является достаточной. Частота записи значений равная 0,2 Гц позволит интерполировать значения глубин на частоту 1 Гц без потери точности. Частота 0,2 Гц выбрана из соображений возможности регистрации глубины вручную оператором, с фиксированием моментов времени по секундомеру относительно оперативного нуля времени, то есть точки начала опыта.

Фиксация значений мгновенной скорости с помощью приемоиндикаторов СНС не даст необходимой точности измерений, из за того, что скорость полученная таким методом измерена относительно грунта, а для составления математической модели просадки судна необходима скорость относительно обтекающего судна потока воды, а в предполагаемом районе наблюдений скорости течения могут достигать значительных величин. Современные относительные лаги имеют максимальную погрешность показаний не более 3%, что вполне приемлемо для целей данного исследования.

Выводы

Очевидно, что оценка применимости существующих теоретических способов определения просадки судна к условиям плавания на ВВП необходима. Такая оценка должна основываться на результатах натуральных наблюдений. Проведение таких наблюдений без выезда в отдаленные регионы осуществимо с технической точки зрения. Однако с финансовой точки зрения выполнение испытаний требует денежных затрат.

Список литературы:

1. C. V. Barrass, Thirty-Two Years of Research into Ship Squat, 2nd Squat Workshop 2004, Elsfleth, Germany, 3–4 March 2004.
2. Briggs, Michael & Vantorre, Marc & Uliczka, Klemens & Debaillon, Pierre. (2010). Prediction of Squat for Underkeel Clearance. 10.1142/9789812819307_0026
3. Управление судном и его техническая эксплуатация: Учебник для учащихся судоводит. спец. высш. инж. мор. училищ / Е.И Жуков [и др.]; под ред. А. И. Щетининой. – М.: Транспорт, 1983. – 655с.
4. Гофман, А.Д. Теория и расчет поворотливости судов внутреннего плавания / А.Д. Гофман. – Л.: «Судостроение», 1971.– 256 с.
5. Шанчуров, П.Н. Управление судами и составами на внутренних водных путях: учебник для ин-тов водн. трансп. / П.Н. Шанчуров. М.: Транспорт, 1966.– 272 с.
6. Чури́н, М.Ю. Динамическая просадка толкаемых составов и особенности её определения / М.Ю. Чури́н, А.Н. Клементьев, Е.В. Зубкова //Судовождение и безопасность плавания, водные пути, гидротехнические сооружения и экологическая безопасность судоходства: сб. науч. тр./ ВГАВТ. – Н.Новгород: ФГОУ ВПР ВГАВТ, 2020. – с.28-33.
7. Ankudinov, V., Dagett, L.L., HEWLETT, J. C., AND JAKOBSEN, B. K. 2000 Prototype measurement of ship sinkage in confined water, Proceedings, International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability(MARSIM '00), May 8 –12, Orlando, FL.
8. Guliev, U. M. 1971 On squat calculations for vessels going in shallow water and through channels, PIANC Bulletin, 1, 7, 17–20
9. Huuska, O. 1976 On the evaluation of underkeel clearances in Finnish waterways. Report No. 9, Helsinki University of Technology, Ship Hydrodynamics laboratory, Finland
10. Eryzlu, N. E., Cao, Y. L., AND D’Agnolo, F. 1994 Underkeel requirements for large vessels in shallow waterways, Proceedings, 28th International Navigation Congress, PIANC, Paper S II-2, May 22–27, Sevilla, Spain, pp. 17–25
11. Romisch, K. 1989 Empfehlungen zur Bemessung von Hafeneinfahrten, Wasserbauliche Mitteilungen der Technischen Universitat Dresden, 1, 39–63.
12. <http://gnss.spb.ru/zabluzhdeniya/o-zapadnykh-sistemakh-differentsialnoy-korreksii/>
13. Ha, J.H., and Gourlay, T.P. (2018). “Validation of Container Ship Squat Modeling Using FullScale Trials at the Port of Fremantle.” Journal of Waterway, Port, Coastal, and OceanEngineering, 144(1), DOI: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000425.
14. Система NIVE. Режим доступа: <https://hive.geosystems.aero>
15. <http://geopribory.com/uslugi/arenda/аренда-двухчастотного-gps-glonass-комплекта-rtk-detail>

PRESENT-DAY APPROACHES TO FULL-SCALE TRIAL METHODS FOR DYNAMIC SHIP SQUAT DETERMINATION

Mikhail Y. Churin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Yuri V. Bazhankin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article defines necessity to use ship squat when computing underkeel clearance. Review of full-scale trials methods for squat with the use of global navigational satellite systems was made. Sources of method’s errors were analyzed and its values were evaluated. Justification of necessity to ajust trial methods has been given, based on inland

waterways environment conditions of Gorodets – Kstovo route and performance of GNSS in this area. The authors defined parameters to be measured during full-scale trials for the purpose of numerical methods improvement.

Keywords: full-scale trials, numerical method, squat, global navigational satellite system altitude, accuracy of allitude measure, accuracy of soundings, accuracy of speed towards water

References:

1. C. B. Barrass, Thirty-Two Years of Research into Ship Squat, 2nd Squat Workshop 2004, Eilsfleth, Germany, 3–4 March 2004.
2. Briggs, Michael & Vantorre, Marc & Uliczka, Klemens & Debaillon, Pierre. (2010). Prediction of Squat for Underkeel Clearance. 10.1142/9789812819307_0026
3. Управление судном и его техническая эксплуатация: Учебник для учащихся судоводит. спец. высш. инж. мор. училищ / Е.И. Жуков [и др.]; под ред. А. И. Шхетининой. – М.: Транспорт, 1983. – 655с.
4. Gofman, A.D. Теория и расчёт поворотливости судов внутреннего плавания / А.Д. Говман. – Л.: «Судостроение», 1971.– 256 с.
5. Shanchurov, P.N. Управление судами и составами на внутренних водных путях: учебник для ин-тов водн. трансп. / P.N. Shanchurov. М.: Транспорт, 1966.– 272 с.
6. Churin, M.Ju. Динамическая посадка толкаемых составов и особенности его определения / M.Ju. Churin, A.N. Klement'ev, E.V. Zubkova // Судовождение и безопасность плавания, водные пути, гидротехнические сооружения и экологическая безопасность судоходства: сб. науч. тр./ VГАВТ. – N.Novgorod: FGOU VPR VГАВТ, 2020. – с.28-33.
7. Ankudinov, V., Daggett, L.L., HEWLETT, J. C., AND JAKOBSEN, B. K. 2000 Prototype measurement of ship sinkage in confined water, Proceedings, International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability(MARSIM '00), May 8 –12, Orlando, FL.
8. Guliev, U. M. 1971 On squat calculations for vessels going in shallow water and through channels, PIANC Bulletin, 1, 7, 17–20
9. Huuska, O. 1976 On the evaluation of underkeel clearances in Finnish waterways. Report No. 9, Helsinki University of Technology, Ship Hydrodynamics laboratory, Finland
10. Eryzlu, N. E., Cao, Y. L., AND D'Agnolo, F. 1994 Underkeel requirements for large vessels in shallow waterways, Proceedings, 28th International Navigation Congress, PIANC, Paper S II-2, May 22–27, Sevilla, Spain, pp. 17–25
11. Romisch, K. 1989 Empfehlungen zur Bemessung von Hafeneinfahrten, Wasserbauliche Mitteilungen der Technischen Universität Dresden, 1, 39–63.
12. <http://gnss.spb.ru/zabluzhdeniya/o-zapadnykh-sistemakh-differentsialnoy-korreksii/>
13. Ha, J.H., and Gourlay, T.P. (2018). “Validation of Container Ship Squat Modeling Using FullScale Trials at the Port of Fremantle.” Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 144(1), DOI: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000425.
14. Sistema HIVE. Rezhim dostupa: <https://hive.geosystems.aero>
15. <http://geopribory.com/uslugi/arenda/arenda-dvuhchastotnogo-gps-glonass-komplekta-rtk-detail>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Михаил Юрьевич Чурин, к.т.н., доцент, доцент кафедры Судовождения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: dek_fso@vsuwt.ru

Mikhail Y. Churin, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Ship Handling and Navigation Safety Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Юрий Владимирович Бажанкин, к.т.н., доцент кафедры Судовождения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),

Yuri V. Bazhankin, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: dek_fsz@vsuwt.ru

Handling and Navigation Safety Department, Volga State University of Transport, 5, Nesterov st, Nizhny N rod, 603951

Статья поступила в редакцию 17.09.2020 г.

Раздел V

***Водные пути, порты
и гидротехнические сооружения***



Section V

***Waterways, ports and hydraulic
engineering constructions***



УДК 627.152.121:553.62

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.138>

ПРОГНОЗ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПОЙМЕННЫХ КАРЬЕРОВ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕАНДРИРУЮЩИХ РУСЛАХ РЕК С УЧЕТОМ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ СУДОХОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ Р.БЕЛАЯ)

А.Н. Ситнов

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

М.В. Шестова

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Ю.Е. Воронина

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Пойменные карьеры нерудных строительных материалов (НСМ) оказывают минимальное влияние на водный режим и судоходные условия водоема в районе своего расположения. Однако освоение таких месторождений имеет свои особенности, особенно, если они находятся в меандрирующих руслах крупных судоходных рек. На примере пойменного карьера, расположенного на устьевом участке р.Белой (1757-1763 км), были рассмотрены условия разработки таких объектов с учетом обеспечения безопасности судоходства; дана оценка состояния русла и выполнен прогноз русловых деформаций на основе анализа динамики изменения основных параметров излучин. Был сделан вывод о возможности добычи песчано-гравийных пород на исследуемом участке реки Белая только при условии комплексного решения вопросов, связанных с безопасностью судоходства. В первую очередь, это спрямление меандра и перенос судового хода в новую капитальную прорезь.

Ключевые слова: пойменные карьеры НСМ, прогноз русловых деформаций, меандрирующие русла рек, судоходные условия

Введение

Речная экосистема в стадии своего динамического равновесия характеризуется сложившимися гидрологическими, геохимическими и биологическими циклами и ее функционирование осуществляется по принципу обратной связи. Поэтому реакция системы на любое вторжение в природную среду зависит от степени и продолжительности техногенного воздействия и в каждом конкретном случае требует проведения комплексных исследований. Гидрологический и русловой режимы представляют собой одни из наиболее сложных процессов взаимодействия руслового потока со слагающим аллювием ложа реки.

Пойменные карьеры нерудных строительных материалов (НСМ) более желательны в реализации, поскольку оказывают минимальное влияние на водный режим и судоходные условия в районе своего расположения. Однако освоение таких месторождений имеет свои особенности, требующие предварительной проработки ряда вопросов. При комплексном же решении разработка такого типа карьера может вестись не только с целью добычи НСМ, но и способствовать улучшению судоходных условий на конкретном участке водоема.

Постановка задачи

Объектом исследования является возможный участок разработки песчано-гравийных пород (ПГП) на приустьевом участке р.Белая в интервале 1757-1763 км судового хода (по Атласу ЕГС ЕЧ РФ том 10) (рис.1). Предполагаемое месторождение ПГП находится в правобережной пойме вне акватории судового хода в зоне подпора Нижнекамского водохранилища. Целью исследований является предварительная оценка возможности и условий разработки планируемого месторождения ПГП с учетом анализа русловых процессов и безопасных условий судоходства на исследуемом участке реки Белая.



Рис.1. Обзорная схема участка недр на 1757-1763 км р. Белая.

Анализ русловых процессов на исследуемом участке реки Белая.

Для реки Белая характерен меандрирующий тип руслового процесса. Река на протяжении десятков километров от устья является сильно извилистой, с большим количеством излучин. Рассматриваемый устьевой участок располагается в месте впадения р. Белая в р. Кама, которая, в свою очередь, находится в подпоре Нижнекамского водохранилища. Однако, несмотря на данное обстоятельство, процессы меандрирования на участке выражены в значительной степени, и процесс развития двух последних излучин на р. Белая не завершен и в настоящее время. Для оценки поведения реки и возможности разработки карьера на пойменном устьевом участке в пределах излучины необходимо провести анализ русловых процессов на исследуемом объекте за последние десятилетия.

Излучины, формирующиеся в меандрирующих реках имеют весьма различные углы разворота. На реке Белая наблюдается процесс свободного меандрирования с признаками развития незавершенного. В отличие от излучины ограниченного меандрирования, сползающей вниз по течению без закономерного изменения ее плановых очертаний, на излучине свободного меандрирования меняется угол разворота в сторону увеличения. Изучение переформирований русла за предыдущие годы позволяет достаточно точно указать направление и интенсивность переформирований участка в будущем, что необходимо для проектирования варианта возможного изменения направления судового хода.

Для более детальной оценки процесса развития двух нижних излучин необходимо определение следующих измерителей (рис.2):

шаг излучины λ — расстояние по прямой между точками перегиба осевой линии, ограничивающими излучину, м;

длина излучины S — расстояние между теми же точками, измеренное по осевой линии, м;

угол входа $\alpha_{вх}$ — угол, образованный линией шага и вектором, направленным в сторону течения по касательной к осевой линии в верховой точке перегиба, град.;

угол выхода $\alpha_{вых}$ — угол, образованный продолжением линии шага и вектором, аналогичным названному выше, но проходящему через низовую точку перегиба, град.;

угол разворота α — угол, образованный двумя названными выше векторами и равный сумме углов входа и выхода, т. е. $\alpha = \alpha_{вх} + \alpha_{вых}$;

высота излучины y_r — расстояние от линии шага до наиболее удаленной точки осевой линии, м;

показатель развитости излучины S/λ .

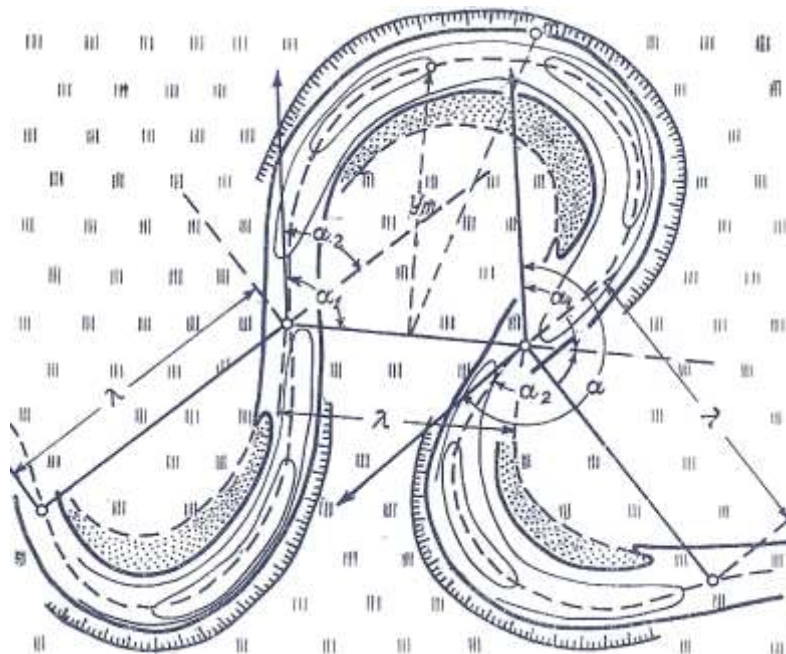


Рис. 2 Измерители меандрирования

Скорость плановых деформаций излучины оценивается следующими измерителями:

- скорость развития угла разворота излучины C_α — отношение изменения угла разворота $\Delta\alpha$ к соответствующему интервалу времени Δt , т. е. $C_\alpha = \Delta\alpha / \Delta t$, где $\Delta\alpha = \alpha_{t+1} - \alpha_t$;

- скорость развития длины излучины C_S — отношение изменения длины излучины ΔS к соответствующему интервалу времени Δt , т. е. $C_S = \Delta S / \Delta t$, $\Delta S = S_{t+1} - S_t$;

- скорость перемещения линии берега C_b , м/год.

Кинематические измерители получены путем сопоставления разновременных съемок или съемок прежних лет с современным положением русла реки. Результаты измерений приведена в таблице 1.

Основные измерения излучины р.Белая в районе предполагаемого месторождения ППП

Параметры	Год		
	1994	2009	2017
$\alpha_{вх1}, \text{ }^\circ$	69	83	82
$\alpha_{вых2}, \text{ }^\circ$	78	75	79
$\alpha,$	147	158	161
$\lambda_1, \text{ м}$	2120	2190	2260
$\lambda_2, \text{ м}$	1630	1830	1910
$Y_{т1}, \text{ м}$	1210	1340	1350
$Y_{т2}, \text{ м}$	1120	1300	1440
$S_1, \text{ м}$	2500	2500	2500
$S_2, \text{ м}$	2650	3050	3200
S_1/λ_1	1,18	1,14	1,11
S_2/λ_2	1,62	1,67	1,68
$C_{\alpha}, \text{ град/год}$	-	0,73	0,61
$C_S, \text{ м/год}$	-	27	24
$C_b, \text{ м/год}$	-	14-22	6-12

Примечание: В таблице 1 обозначены: индексом 1 – излучина в районе предполагаемого месторождения ППП; индексом 2 – ниже расположенная по течению излучина.

При анализе многолетних деформаций рассматривается не русло вообще, а отдельные русловые образования. На участках меандрирующих рек такими образованиями являются отдельные извилины с перекатами и плесовыми лощинами. Эта задача решается путем сопоставления и совмещения планов различных лет съемок. Анализ таких планов позволил выделить следующие характерные этапы и особенности русловых переформирований участка реки.

До 2009 г. интенсивность русловых деформаций на участке была сравнительно велика и заключалась, в основном, в постепенном наращивании длин обеих нижних излуцин реки путем размыва береговой полосы верховой и низовой точек перегиба излуцин со средней интенсивностью около 14-22 м/год. Такая интенсивность, не характерная для свободных меандрирующих рек (интенсивность размыва свободных меандрирующих рек 30-100 м/год), объясняется подпором Нижнекамского водохранилища, который сглаживает основные плановые деформации путем уменьшения скоростей течения и колебания уровней воды в течение года. Это позволяет затормозить естественный процесс формирования излуцин.

Динамика изменений параметров русла на участке определяет усложнение его развития по варианту ограниченного меандрирования.

Ухудшение условий движения потока на рассматриваемом участке вызвано постепенным изменением углов входа и выхода из излуцин в сторону увеличения общего угла разворота на 11° . При этом показатель развитости нижней по течению излучины растет с 1,62 до 1,67. Такие показатели характерны для относительно крутых излуцин, готовых в естественных условиях развивать зоны будущих проранов. Однако из-за воздействия на реку подпора от Нижнекамского водохранилища показатель развитости излучины не достигает необходимой величины (более 2) и процесс начинает притормаживаться. Таким образом, излучина в том виде, в котором существует на данный момент времени, будет только усугублять условия судоходства в будущем.

В период с 2009 до 2017 гг. (рис. 3) интенсивность русловых деформаций уменьшается (рост излуцин сокращается до 6-12 м/год), что говорит об угасании процесса роста искривления русла на устьевом участке.

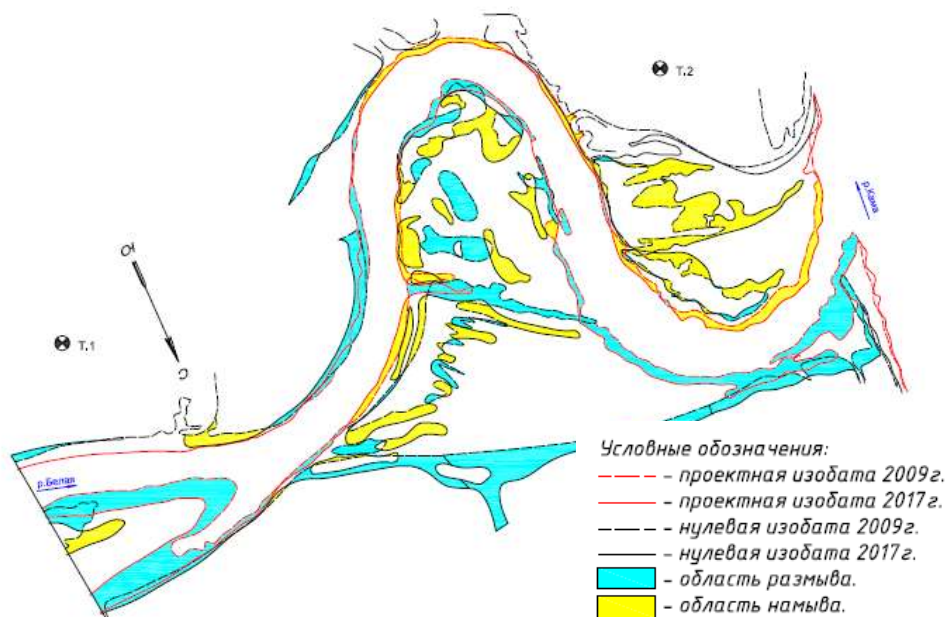


Рис.3. Совмещенные планы 2009 и 2017 г устьевое участка р. Белая

Тенденции к развитию спрямляющей протоки на участке до 2009 года не наблюдалось. Однако уже к 2017 году возникают локальные зоны расширения глубинной эрозии у нижней точки второй по течению излучины и размыва оградительной дамбы между р. Белая и р. Кама.

Пойма внутри первой (верхней из двух) излучины характеризуется разнонаправленными деформациями, возникающими также за счет подпора Нижнекамского водохранилища. Рассматриваемый участок р. Белая находится в зоне выклинивания подпора указанного водохранилища, которая характеризуется наличием временного подпора – в межень при наполненном водохранилище. В зимний период при частично опорожненном водохранилище и во время половодья на реке в зоне выклинивания подпор отсутствует. В это время гидрологический и русловой режимы зоны аналогичны режимам свободной реки. Во время подпора режим зоны выклинивания приближается к режиму речной части водохранилища. Кроме того, необходимо учитывать, что по данным Берковича К.М. [1], начиная с 1965 г., из русла р.Белой и прирусловой поймы было извлечено более 85 млн. м³ песчано-гравийного аллювия, что оказало определенное влияние на морфологическое строение реки, на ее водный и русловой режим.

2. Обоснование рекомендуемых параметров и условий добычи ПГП с учетом безопасных условий судоходства

В меандрирующих руслах рек обеспечивать устойчивость излучин при карьерных разработках достаточно сложно. Ввиду большой подвижности таких русел выбор места расположения карьера обычно затруднен. Существуют следующие рекомендации при размещении карьеров НСМ на пойме [2,3,4]:

1. Допускается проектирование карьеров НСМ (с ограждением участков добычи НСМ защитными дамбами) на пойменных участках и в во второстепенных рукавах русел с незавершенным меандрированием и пойменной многорукавностью.

2. Оптимальным местом размещения карьера на излучине представляется низовая часть пляжа. Добыча материала допустима и на других участках пляжа (поймы), не нарушающих общей морфологии русла, например, в виде поперечных прорезей.

3. Не рекомендуется размещать карьеры на верховом и низовом перекатах излучин, т. к. их размещение на указанных макроформах приводит к значительному перехвату карьером влекомых наносов, что в свою очередь, оказывает влияние на развитие смежных излучин.

Планируемый карьер ПП занимает практически всю правобережную пойму, захватывая в том числе ее основание (рис.4). При разработке всего карьерного поля на участке произойдут необратимые русловые деформации, которые существенно осложняют судоходную обстановку. Для минимизации подобных рисков следует предусмотреть чёткую поэтапность отработки карьера и проектирование зоны, не подлежащей отработке (охранного целика). При разработке карьера значительной площади изменение расходов воды и скоростей течения по ширине русла могут привести к перемещению динамической оси потока на акваторию карьера и образованию вторичных течений. Такого рода карьеры следует проектировать совместно с путевскими организациями в комплексе с коренным улучшением судоходных условий.

Кроме того, на исследуемом участке реки Белая существуют сложности в организации судоходства, которые связаны, в том числе, с ограниченной просматриваемостью судов. На 1760,8-1759,1 км расхождение и обгон составов и крупногабаритных судов длиной более 120 м не рекомендуется. Для пропуска встречных судов и составов идущие вверх суда должны останавливаться на 1759 км справа от оси судового хода. В целом участок 1759-1753 км является зоной повышенной опасности и при движении здесь необходимо соблюдать особую осторожность.

Развитие излучин при незавершенном меандрировании может быть легко приостановлено в результате внешних воздействий. Например, путем создания новых спрямлений. С учетом этого в границах карьера можно выделить первоочередной участок по добыче НСМ, который одновременно будет являться акваторией нового судового хода.



Рис.4. Схема разбивки на участки очередности отработки карьера: 1-положение капитальной судоходной прорези (спрямление русла), 2 – пойменная часть карьера, подлежащая отработке; 3 – зона, не подлежащая отработке (охранный целик).

Параметры нового создаваемого русла должны быть сопоставимы с параметрами современного русла на его судоходном участке, а именно: ширина должна быть выдержана не менее 200 м с тем, чтобы обеспечить двухстороннее движение судов; а глубина не менее максимальной фактической глубины в современном русле 14 м. В этом случае площадь живого сечения русла составит около 3000 м² и тем самым будет обеспечен расход воды, проходящий сейчас в основном русле.

Учитывая гидравлику потока, необходимо отметить, что обязательным является наличие перемычки с повышенными отметками, которая отделит будущий основной судовой ход от акватории оставшейся части карьера и, по сути, будет выполнять роль защитной дамбы (блок № 3 на рис.4). Согласно [4], границы карьера должны находиться от оси перемычки (или дамбы) на расстоянии более пятикратной глубины карьера. Таким образом, ширина перемычки (блока №3) должна составлять не менее 150 м, и ее разработка недопустима. Для ее формирования и укрепления рекомендует вскрышные породы укладывать на нее.

Разработку прорези (блока №1) следует начинать снизу вверх от 1757 км. Окончательное спрямление русла (прорыв меандра) следует выполнить в конце навигации. Постольку по длине блок №1 имеет большую протяженность (около 3,0 км), то его отработка будет производиться в течение нескольких лет. При этом следует отметить, что при организации работ по добыче ПГП в районе 1757 км от кромки судового хода до внешней границы блока должна сохраняться 30-метровая свободная зона для закладки станových якорей земснаряда и установки барж под погрузку. Поэтому для соблюдения этих возможно требований потребуется ограничение длины обрабатываемого блока на 20-30 м на участке 1757 - 1758 км.

После решения вопросов организации судоходства и выставления нового навигационного ограждения можно перейти к разработке пойменной части карьера (блок №2). При этом старое русло рекомендуется перекрыть в истоке и, таким образом, сосредоточить сток воды и наносов в спрямлении. Разработку блока №2 рекомендуется начать с его верхней части с тем, чтобы в районе нового судового хода стабилизировался процесс русловых деформаций. У границы блока, примыкающей к перемычке, необходимо планировать добычные работы, исходя из условия недопущения разрушения ее берегов при образовании естественных откосов в разработанном карьере менее 1:4.

Самым важным вопросом при организации добычных работ является обеспечение безопасности судоходства на устьевом участке р. Белая. Определяющим требованием является обеспечение безопасного судоходства транзитного флота и маневрирования устанавливаемых под погрузку к добычной технике судов и составов, а также при их отводе на рейд формирования после погрузки. Необходимо также отметить, что концентрация судов в одном месте, в первую очередь, на криволинейных участках судового хода, снижает безопасность судоходства в связи с дезориентацией судоводителей, особенно в ночное время при большом скоплении огней.

В соответствии с правилами организации рейдов [4] не допускается их размещение в местах поворотов судового хода. Кроме того, Правилами плавания [5, Ст.199] запрещена стоянка судов в крутых коленах и на подходах к ним, у берегов с прижимным течением, на входах в притоки и выхода из них. С учетом этого рейды при организации добычных работ на блоке №1 должны быть организованы за пределами судового хода 1757-1763 км. Возможна их организация ниже по течению на р. Кама.

Рейды целесообразно организовать в районе селения Усть-Бельское вдоль правого берега (1753 км) на р. Кама, как на месте бывшего рейда нефтеналивных судов, так и ниже по течению. Русло реки на данном участке широкое, прямолинейное, глубины большие. Правый берег высокий, коренной, который прикрывает рейд от действия северных ветров.

В целом добычные работы целесообразно вести в светлое время суток с тем, чтобы не увеличивать нагрузку на судоводителей и не дезориентировать их в темное

время. При организации работ в темное время суток в качестве альтернативы может быть рассмотрен вариант с корректировкой светового оборудования на кромочных навигационных знаках (с заменой белых огней на зеленый) либо на всем протяжении рассматриваемого участка, либо ограничиться 1757-1758 км.

Также может быть рекомендовано отработку первой серии на блоке №1 в районе 1757-1758 км вести только в светлое время суток, однако данный вопрос должен быть проработан на следующем этапе проектирования при разработке организации добычи НСМ. Следует отметить, что работа на первой серии блока №1 в темное время суток возможна при надежной гарантии отсутствия движения транзитных судов в это время на рассматриваемом участке, что должно быть оговорено специальными условиями.

Создание спрямляющего судового хода устраним имеющиеся сложности в прохождении судами участка 1763-1757 км, что целесообразно осуществить до возможного наполнения до проектной отметки Нижнекамского водохранилища, которое может быть реализовано в перспективе. Однако, при повышении уровня НПУ в Нижнекамском водохранилище с 63,3 мБС на проектный уровень 64,0 мБС (на 70 см) коренным образом ситуацию с трудностями судоходства, имеющимися в настоящее время на излучине, не улучшит. Только спрямление судового хода может обеспечить безопасное плавание судов на устьевом участке р. Белая. Для обеспечения безопасности судоходства при входе и выходе из предполагаемого спрямления необходимо предусмотреть расстановку навигационного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 26600-98 [6].

В этой связи разработанный улучшенный судовый ход послужит основой проектных решений транспортного освоения участка при подъеме Нижнекамского водохранилища и исключит трудности разработки будущей спрямляющей трассы для района водных путей и судоходства Администрации бассейна в новых гидрологических условиях, связанных с повышением уровня воды и ухудшением ориентации в зоне трассы, что также осложнит судоходные условия.

Вывод

Таким образом, добыча НСМ на исследуемом участке реки Белая в принципе возможна только при условии комплексного решения вопросов, связанных с безопасностью судоходства. В первую очередь, это спрямление меандра и перенос судового хода в новую капитальную прорезь. За счет этого будут устранены те сложности, которые сейчас существуют в организации судоходства, а также будет уменьшена протяженность пути на этом участке на 3 км.

Список литературы:

1. Беркович К.М. Русловые процессы и русловые карьеры. – М.: 2005. – с.109.
2. СТО 52.08.31-2012. Добыча НСМ в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров /Министерство природных ресурсов и экологии РФ/. Сп-б. 2010 г.
3. Рекомендации по прогнозу деформаций речных русел на участках размещения карьеров и в нижних бьефах гидроузлов, - Ленинград: Транспорт, 1988 г.
4. Руководство по проектированию русловых карьеров. Мероприятия по предотвращению понижения уровней воды / Министерство речного флота РСФСР/, Ленинград: Транспорт, 1987 г.
5. Правила плавания по внутренним водным путям. / Утв. приказом Минтранса России от 19 января 2018 г. № 19.
6. ГОСТ 26600-98. Знаки навигационные внутренних судоходных путей. ИПК. – Изд-во стандартов, 2001 – 32 с.
7. Гришанин К.В. и др. Водные пути. – М.: Транспорт, 1986 г.
8. Рекомендации по учету естественных циклических деформаций русел равнинных рек при строительном проектировании / Министерство энергетики и электрификации СССР/ Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1969 г.
9. Knighton D. Fluvial forms and processes. London, Arnold.1984.218p.

10. Knighton D. Fluvial forms and processes. A new perspective. London, Arnold. 1998. 383p.
11. Bagnold R.A. An approach to the sediment transport problem from general physics. - US. Geol. Survey, 1966, Prof. Paper
12. Graf W.H., Acaroglu E.R. Sediment transport in conveyance systems (Part I) - Bull. Int. Assoc. Sci. Hydr., XIII annee №2. 1968
13. Lagasse P.F., Winkley B.R., Simons D.B. Impact of gravel mining on river system stability// Journal of the Waterway, Port, Coastal, and Ocean Division. Vol. 103. 1980. №3. P. 389-404.
14. Galay V.J. Causes of River Bed Degradation// Water resources research, 1983, vol.19, №5. P.1057-1090.
15. Graf W.L. The rate law in fluvial geomorphology. – American Journal of Science. 1977, 277. P.178-191.
16. Gregory K. Walling D. Human activity and environmental processes. London. 1987. 235.

CHANNEL DEFORMATIONS FORECAST AND FEATURES OF FLOODPLAIN QUARRIES OF NON-METALLIC CONSTRUCTION MATERIALS DEVELOPMENT IN MEANDERING RIVERBEDS BASED ON SAFE NAVIGATION CONDITIONS (ON THE EXAMPLE OF THE BELAYA RIVER)

Aleksandr N. Sitnov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Yulia E. Voronina

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Marina V. Shestova

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Floodplain quarries of non-metallic construction materials (NCM) have a minimal impact on the water regime and navigable conditions of the reservoir in the area of their location. However, the development of such deposits has its own characteristics, especially in case of their location in meandering beds of large navigable rivers. On the example of floodplain quarry located at the mouth of the Belaya river (1757-1763 km), development conditions for such facilities based on ensuring navigation safety were considered; on the basis of changes' dynamics in the bends' main parameters the channel state assessment and fluvial deformations forecast were made. It was concluded that it is possible to extract sand and gravel in the studied section of the Belaya river, provided that navigation safety issues are resolved in a comprehensive manner. First of all, it refers to meander straightening and transferring the ship's course to a new capital slot.

Keywords: floodplain quarries of NCM, channel deformations forecast, meandering riverbeds, navigable conditions

References:

1. Berkovich K.M. Ruslovye processy i ruslovye kar'ery. – M.: 2005. – s.109.
2. STO 52.08.31-2012. Doby'cha NSM v vodny'x ob'ektax. Uchet ruslovogo processa i rekomendacii po proektirovaniyu i e'kspluatacii ruslovy'x kar'erov /Ministerstvo prirodny'x resursov i e'kologii RF/. Sp-b. 2010 g.
3. Rekomendaciyam po prognozu deformatsij rechny'x rusel na uchastkax razmeshheniya kar'erov i v nizhnix b'efax gidrouzlov, - Leningrad: Transport, 1988 g.
4. Rukovodstvo po proektirovaniyu ruslovy'x kar'erov. Meropriyatiya po predotvrashheniyu ponizheniya urovnej vody' / Ministerstvo rechnogo flota RSFSR/ , Leningrad: Transport, 1987 g.
5. Pravila plavaniya po vnutrennim vodny'm putyam. / Utv. prikazom Mintransa Rossii ot 19 yanvarya 2018 g. № 19.

6. GOST 26600-98. Znaki navigacionny'e vnutrennix sudoxodny'x putej. IPK. – Izd-vo standartov, 2001 – 32 s.
7. Grishanin K.V. i dr. Vodny'e puti. – M.: Transport, 1986 g.
8. Rekomendacii po uchetu estestvenny'x ciklicheskich deformacij rusel ravninny'x rek pri stroitel'nom proektirovanii / Ministerstvo e'nergetiki i e'lektrifikacii SSSR/ Leningrad: Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1969 g.
9. Knighton D. Fluvial forms and processes. London, Arnold. 1984. 218p.
10. Knighton D. Fluvial forms and processes. A new perspective. London, Arnold. 1998. 383p.
11. Bagnold R.A. An approach to the sediment transport problem from general physics. - US. Geol. Survey, 1966, Prof. Paper
12. Graf W.H., Acaroglu E.R. Sediment transport in conveyance systems (Part I) - Bull. Int. Assoc. Sci. Hydr., XIII annee №2. 1968
13. Lagasse P.F., Winkley B.R., Simons D.B. Impact of gravel mining on river system stability// Journal of the Waterway, Port, Coastal, and Ocean Division. Vol. 103. 1980. №3. P. 389-404.
14. Galay V.J. Causes of River Bed Degradation// Water resources research, 1983, vol.19, №5. P. 1057-1090.
15. Graf W.L. The rate law in fluvial geomorphology. – American Journal of Science. 1977, 277. P. 178-191.
16. Gregory K. Walling D. Human activity and environmental processes. London. 1987. 235.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ситнов Александр Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедры Водных путей и гидротехнических сооружений, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: stnv1952@rambler.ru

Aleksandr N. Sitnov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Waterways and hydraulic structures Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov str., Nizhny Novgorod, 603951

Воронина Юлия Евгеньевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры Водных путей и гидротехнических сооружений, к.т.н. Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: yulez@yandex.ru

Yulia E. Voronina, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov str., Nizhny Novgorod, 603951

Шестова Марина Вадимовна, к.т.н., доцент, доцент кафедры Водных путей и гидротехнических сооружений, к.т.н. Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: shestowam@yandex.ru

Marina V. Shestova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Waterways and hydraulic structures, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov str., Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 10.11.2020 г.

Научные проблемы водного транспорта

Вестник ВГАВТ

Выпуск 65
2020

Формат бумаги 70x180 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 15,56. Уч.-изд. л. 21,79.
Заказ . Тираж 500.

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса ВГУВТ
603951, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5