

# ВІСНИК



ОДЕСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ

51

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**ВІСНИК  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Збірник наукових праць*

**ВИПУСК 2 (51)**

*Заснований у червні 1997 року*

**Одеса – 2017**

ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№ 2 (51)  
2017

Заснований у червні 1997 року

Виходить 4 рази на рік

Свідоцтво Міністерства юстиції України  
про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
Серія КВ № 17536-6286 Р від 11.02.2011 р.

УДК 629.12.002(082)

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України,  
в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт  
на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук  
(Наказ Міністерства освіти і науки України № 820 від 11.07.16)

Засновник і видавець:  
внз «Одеський національний морський університет»  
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34

Редакційна колегія:  
д-р техн. наук, проф. *С.В. Руденко* – відп. редактор  
канд. техн. наук, доц. *О.В. Демідюк* – заст. відп. редактора  
*Г.І. Силакова* – відповід. секретар

д-р фіз.-мат. наук, проф.	<i>Андронов І.Л.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Івановський В.Г.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Вассерман О.А.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Іванченко О.О. (Росія)</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Гришин В.О.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Козляков В.В.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Гришин А.В.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Коростильов Л.І.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Дубровський М.П.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Лапкіна І.О.</i>
д-р техн. наук	<i>Дульнев О.І. (Росія)</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Махуренко Г.С.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Єгоров Г.В.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Постан М.Я.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Єзупов К.В.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Яровенко В.О.</i>

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Одеського національного морського університету  
(протокол № 10 від 29 березня 2017 р.)

Відповідальність за достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв,  
назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей.

Висловлені у цих статтях думки можуть не збігатися  
з точкою зору редакційної колегії, не покладають на неї ніяких зобов'язань.  
Передруки і переклади дозволяються лише за згодою автора та редакції.

ЗМІСТ

---

---

**ГІДРОДИНАМІКА, ТЕОРІЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ КОРАБЛЯ**

<b>Егоров Г.В., Егоров А.Г.</b> Перспективы существующих судов смешанного река-море и внутреннего плавания .....	5
<b>Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Тонюк В.И., Автугов Н.В.</b> Опыт применения аварийно-спасательных судов новых концептов .....	40
<b>Канифольский А.О., Ларкин Ю.М.</b> Направления развития теории проектирования малых однокорпусных судов переходного режима .....	62

**ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ**

<b>Данилян А.Г., Залож В.И., Руденко М.И.</b> Создание новых направлений снижения вредных выбросов в отходящих газах двигателей внутреннего сгорания .....	73
<b>Панченко Т.Д., Тузова И.А., Челабчи В.В., Челабчи В.Н.</b> Экономичный воздухоохладитель рабочих зон .....	82

**ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО**

<b>Блажко А.П.</b> Еколого-іригаційне оцінювання стану поверхневих вод в басейні річки Малий Куяльник .....	97
<b>Синица Р.В., Осадчий В.С.</b> Определение параметров гашения волн оградительными гидротехническими сооружениями неполного вертикального профиля .....	108

**ТЕХНОЛОГІЯ І ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

<b>Онищенко С.П., Вишневська О.Д.</b> Застосування R/S-аналізу для дослідження динаміки балкерної секції фрахтового ринку .....	119
<b>Онищенко С.П., Коскіна Ю.О.</b> Визначення оптимальної швидкості руху балкерних суден при роботі на перевезеннях вантажів .....	127

ЗМІСТ

---

---

**УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ І ПРОГРАМАМИ**

**Мартынов Л.В., Кошарская Л.В.**

Производственный потенциал судоремонтных предприятий  
и методы оценки эффективности его использования ..... 141

**Богатенко И.Н.**

Метод оценки зрелости команды проекта ..... 148

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА**

**Пипченко А.Д.**

Определение дистанции опасного сближения  
при расхождении маневром собственного судна ..... 156

**ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ**

**Вычужанин В.В., Коновалов С.Н.**

Гибридные экспертные системы для противоаварийного  
управления сложными техническими объектами ..... 165

**ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ**

**Панченко Т.Д., Тузова І.А., Челабчі В.В., Челабчі В.М.**

Використання програмного продукту Excel при викладанні курсу  
«Моделювання систем» ..... 179

**ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ**

**Бреднева В.П., Кошарская Л.В.**

О формировании профессиональных компетенций будущих  
инженеров в процессе изучения графических дисциплин в вузе ..... 188

**АВТОРИ** ..... 194

**ВИМОГИ ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ** ..... 197

УДК 629.5.01:629.54

Г.В. Егоров, А.Г. Егоров

**ПЕРСПЕКТИВЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ СУДОВ  
СМЕШАННОГО РЕКА-МОРЕ И ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ**

*история создания и работы судов смешанного река-море плавания. Проанализированы основные серии существующих судов внутренне-го и смешанного плавания, указаны их актуальные районы плавания, техническое состояние и средний возраст. Даны рекомендации по проектированию конструктивных элементов новых судов.*

**Ключевые слова:** водный транспорт, речные суда, суда смешанного река-море плавания, судостроение, проектирование, районы плавания, возраст, опыт.

*Приведено історію створення й роботи суден змішаного ріка-море плавання. Проаналізовано основні серії існуючих суден внутрішнього й змішаного плавання, зазначено їх актуальні райони плавання, технічний стан і середній вік. Дані рекомендації по проектуванню конструктивних елементів нових суден.*

**Ключові слова:** водний транспорт, річні судна, судна змішаного ріка-море плавання, суднобудування, проектування, райони плавання, вік, досвід.

*The history of creation and operation of river-sea vessels is given. The main series of existing river and river-sea vessels are analyzed, their actual sailing areas, technical condition and middle age are specified. Design recommendations of structural elements of new vessels are given.*

**Keywords:** water transport, river vessels, river-sea vessels, shipbuilding, design, sailing areas, age, experience.

**Постановка проблемы.** Флот судов смешанного река-море плавания (ССП) и коастеров является активным участником экспортно-импортных перевозок и бесперевалочных каботажных перевозок в постсоветских странах (Россия, Украина, Азербайджан, Казахстан, Туркменистан, Литва, Латвия, Эстония, Грузия).

Другим направлением использования ССП является рейдовая егрузка с ССП на морские суда, которая широко применяется в Черном и Азовском море. В мировой морской практике (США, Англия, Дания, Норвегия, Египет и др.) такие операции называют схемой ship-to-ship или STS операции.

Схема STS перевалки с судов «река-море» плавания на морские суда нефтепродуктов с использованием танкеров-накопителей дает воз-

возможность формировать большие партии груза для морских танкеров, водоизмещением 100-150 тыс. тонн. Через рейдовые перегрузочные комплексы переваливаются также сера, зерно и минеральные удобрения.

Безусловно, старение флота и волны мирового экономического кризиса отразились на общей численности ССП, но их работа остается жизненно важной для постсоветского пространства.

**Целью статьи** является исследование состояния флота водного транспорта с анализом перспектив старых «советских» серий судов, что крайне важно для понимания возможной загрузки отечественных судостроительных заводов.

Изложение основного материала. По данным Росстата [1] за 2016 год на внутренних водных путях было перевезено 117,9 млн. тонн грузов, что составляет 97,1 % к соответствующему периоду прошлого года (2015 год – 121,4 млн. т). В том числе в районы Крайнего Севера было отправлено 18,5 млн. тонн грузов, что на 9% превышает показатель перевозок за соответствующий период прошлого года (2015 год – 16,9 млн. т). При этом грузооборот вырос на 5,6 % по сравнению с прошлым годом и составил 672166,2 млн. т км.

В качестве примера активной работы транспортных судов смешанного и внутреннего плавания можно привести результаты деятельности входящих в UCL Holding трех ведущих судоходных компаний в 2016 году:

1. Как сообщает пресс-служба «В.Ф. Танкер» [2], общий объем грузов, перевезенных компанией в период навигации 2016 года с апреля по ноябрь, составил 2,9 млн. тонн – 2,5 млн. тонн грузов (рост 21 % к аналогичному показателю 2015 года) перевезено по внутренним водным путям Единой глубоководной системы. Порядка 0,4 млн. тонн грузов перевезено по международным маршрутам, включая регионы Азовского, Черного, Средиземного, Балтийского, Северного морей и северо-восточной части Атлантического океана. Всего с апреля по ноябрь 2016 года для грузоперевозок по ВВП компания задействовала 45 танкеров и 11 барже-буксирных составов. Новые ССП проектов RST27 и RST54 составили по численности 56 % самоходного флота компании «В.Ф. Танкер». Ключевыми факторами, обусловившими рост объемов грузоперевозок по ВВП в навигацию текущего года, стали более благоприятные для судоходства, в сравнении с ситуацией прошлых лет, гидрологические условия и, как следствие, сокращение времени на прохождение лимитирующих участков. 77 % перевозок пришлось на экспорт нефтеналивных грузов из речных российских портов до рейдовых перевалочных комплексов южного бассейна, 23 % – в направлении нефтяных терминалов северо-западного бассейна. В структуре перевезенных грузов свыше 70 % составили перевозки жидкого битума, мазута, вакуумного газойля (ВГО) и дизельного топлива. Учитывая фактические путевые условия, компании удалось максимизировать объем перевозок за счет оптимального использования широкой проектной линейки судов, нахо-

дящихся в управлении, путем использования как прямых перевозок, так и рейсов с промежуточной перевалкой груза. В прямых перевозках между российскими речными и морскими портами в период навигации доставлено 1,8 млн. тонн грузов (72 % грузоперевозок). Из них танкерами смешанного плавания проектов RST27 и 19614 перевезено порядка 1,4 млн. тонн (78 % от общего объема), судами проектов RST54 и 05074Т – 380 тыс. тонн (21 % от общего объема). В рейсах с промежуточной перевалкой перевезено 0,7 млн. тонн нефтегрузов (28 % грузоперевозок).

2. По сообщению пресс-службы «Волжского пароходства» [3] 10 новых современных сухогрузных судов смешанного плавания проекта RSD44, работавшие в Южном бассейне, перевезли 1 млн. тонн зерновых грузов и серы, около 20% всех перевозок компании. По оперативным данным за отчетный период судами пароходства перевезено 5,2 млн. тонн грузов, что меньше показателя прошлого года на 7 %. Грузооборот составил 5,3 млрд. ткм, на уровне прошлого года. Навигация продолжалась 242 дня, с 30 марта по 27 ноября 2016 года. В структуре перевозок экспортные грузы составили 3,5 млн. тонн, на 238 тыс. тонн или 7 % больше чем в прошлом году. Объем грузов, перевезенных по внутрироссийским маршрутам, снизился на 606 тыс. тонн или 26 % до 1,7 млн. тонн. В навигацию 2016 года почти треть от всего объема грузов составили зерновые грузы. Судами пароходства перевезено 1,57 млн. тонн зерна, на 21,5 % меньше, чем в прошлом году. На экспорт перевезено в 2,6 раза больше металла – 0,9 млн. тонн. Транспортировка серы составила 1 млн. тонн, что на 14,5 % больше прошлогодних объемов. Основным внутрироссийским грузом стал щебень из карьеров Карелии. Суда пароходства перевезли 1,1 млн. тонн щебня, на уровне прошлого года.

3. По сообщению пресс-службы Северо-Западного пароходства (СЗП) [4], многоцелевые сухогрузные суда смешанного река-море плавания проекта RSD49 типа «Нева-Лидер» и модернизированные с поднятием комингса по проекту Морского Инженерного Бюро суда проекта 05074М типа «Волжский» активно использовались пароходством для перевозки зерновых грузов из речных терминалов в море на рейдовые перегрузочные комплексы в районе порта Кавказ с последующей перевалкой на морские суда (т.е. для лихтеровки). В 2016 году такие перевозки зерновых грузов по контрактам Северо-Западного пароходства (входит в UCL Holding) составили 1,12 млн. тонн, превысив на 35 % результат 2015 года. В общем объёме зерновых, предназначенных для лихтеровки, перевозки пшеницы составили около 900 тыс. тонн, превысив на 55 % показатель прошлого года, ячменя, кукурузы, льна и других зерновых – 220 тыс. тонн. Все операции по лихтеровке зерна проводились в морских портах Азово-Черноморского бассейна. По предварительным прогнозам, в 2016 году объёмы зерна для лихтеровки составят около 60 % всех зерновых грузов Северо-Западного пароходства, перевезённых в экспортно-импортном направлении и между иностранными портами. Увеличение данного сегмента в структуре СЗП обусловлено значительным



урожаем зерновых культур в 2016 году и высокой рентабельностью перевозок до конечных портов Африки и Ближнего Востока с использованием морских судов большой грузоподъемности. В 2017 году паромство намерено увеличить объемы лихтеровки зерна с использованием ССП.

Численность этого флота весьма значительна. В конце 2016 году с классами российских обществ (от R1 до O-ПР) было 1725 сухогрузных и нефтеналивных судов, а также буксиров и барж. Динамика численности действующего флота транспортных судов ограниченных районов плавания в 2007-2016 годах представлена в таблице 1.

*Таблица 1*

*Динамика численности транспортных судов  
ограниченных районов плавания*

Класс Регистра	2007 год, ед.	2010 год, ед.	2016 год, ед.	Выбыло к 2016 году по сравнению с 2007 годом, ед.
PC R1	320	304	231	-89
PC R2	265	231	229	-36
PC R2-RSN	584	471	397	-187
PC R3-RSN	272	182	115	-157
PPP M-СП	369	347	212	-157
PPP M-ПР	372	347	351	-21
PPP O-ПР	312	237	190	-122
Всего	2494	2119	1725	-769

Безусловно, старение флота и волны мирового экономического кризиса отразились на общей численности ССП, но их работа остается жизненно важной для народного хозяйства страны.

Обычно говорят, что история судов смешанного река-море плавания (ССП) в отечественном судоходстве начинает свой отсчет с середины 60-х годов прошлого столетия, когда была создана единая глубоководная система внутренних водных путей европейской части СССР и появились массовые серии современных судов, пригодных для совершения соответствующих рейсов.

Но это упрощенный взгляд – восточные славяне уже к IX веку освоили не только речные системы Восточной Европы, но и бассейны Черного, Азовского, Каспийского морей.

Великий торговый путь или как сейчас принято говорить, международный транспортный коридор «из варяг в греки», проходивший по внутренним водным путям Новгородской и Киевской Руси через Неву, Ладогу, Волхов, Ильмень, Ловать, Днепр, мог существовать только при наличии судов, которые использовались как в Балтийском и Черном морях, так и по рекам.

Но уже тогда на развитие судоходства серьезное влияние оказывала позиция правительства, например, новгородские торговцы сами практически не ходили на европейские порты, была организована перевалка с коггов Ганзейского союза на речные суда в Ладоге и устье Охты.

Напротив, в северном направлении (по будущей Северо-Двинской системе или по тем рекам и озерам, которые потом войдут в состав Беломорско-Онежского канала) на морских ладьях, шитиках, стругах, насадах, ушкуях новгородцы выходили в Белое море и далее в Ледовитый океан, собирая дань и занимаясь торговлей, так как Великий Новгород активно осваивал именно северо-восток, расширяя свое жизненное пространство.

Конечно, размеры и грузоподъемность этих судов были несравнимы с современными, представления о безопасности далеки от взглядов XX и XXI века, но уже тогда были понятны особенности ССП, связанные с путевыми условиями – мелководье, пороги, волоки, «отсюда легкость и малая осадка судов при достаточной грузоподъемности и дешевизне. Для морского судоходства использовались или доработанные речные суда (Киевская Русь) или, как это было, вероятно, в Новгородской земле, суда, построенные в иностранной (скандинавской) традиции» [5].

Северный морской путь активно использовался в XIX веке для перегона речных пароходов на реки Сибири. В 1878 году на Енисей по морю прибыл колесный пароход «Москва», в 1881 году – «Дельман». В 1905 году с целью завоза на Енисей материалов для железнодорожного строительства по северному пути туда прибыли два паровых лихтера грузоподъемностью по 750 тонн и четыре буксира, а также девять несамоходных барж.

Точно также пополнялся флот реки Лена. В 1879 году туда по морю прибыл пароход «Лена», в 1896 году – «Север».

Упоминание в официальной классификации об использовании речных судов в море имеется уже в первых Правилах Русского Регистра 1913 года, когда паровые суда разделили по классам: «М» – рейдовые (в море) и озерные; «Р» – речные нормального типа; «Л» – речные облегченного типа.

До Великой Отечественной войны в СССР строились малотоннажные морские суда, пригодные для беспереvalочной перевозки грузов с речных портов [6]. В 1935 году был принят в эксплуатацию лесовоз «Пионер», который работал на перевозке грузов с реки Свирь, Ладожского и Онежском озер на морские порты. Для этой же цели на Каспии использовали сухогрузы грузоподъемностью 1650 тонн типа «Азербайджанец», на Азовском море – шхуны грузоподъемностью 1150 тонн типа «Земляк», на Дальнем Востоке – сухогрузы грузоподъемностью 420 тонн и осадкой 2,8 м типа «Бия».

В предвоенные и послевоенные годы для смешанных перевозок широко применялись несамоходные баржи – лихтеры грузоподъемностью от 300 до 3000 тонн [7].

До появления танкеров смешанного плавания вывоз бакинской нефти осуществлялся с двумя перевалками – сначала на Астраханском морском рейде с морских танкеров на рейдовые лихтера (было создано особое рейдовое пароходство), затем в самой Астрахани – с лихтеров на речные баржи. В середине 30-х годов инженер А.Ф. Пустошкин предложил создать танкер для бесперевалочной перевозки нефти от Баку до Астрахани. Идея широко дискутировалась, в прениях принимали участие «отцы-основатели» советской кораблестроительной науки – академики А.Н. Крылов, Ю.А. Шиманский, проф. П.Ф. Папкович.

Термин «северный завоз» тоже появился в 30-е годы, когда государство осуществляло поддержку арктических регионов с целью создания опорных военно-стратегических пунктов, разведки полезных ископаемых, поддержки коренных народов Севера.

Сразу после Великой Отечественной войны для ММФ начались поставки мелкоосидающих сухогрузных судов дедвейтом 1100 тонн и осадкой 3,1 м типа «Тисса».

В Правилах Речного Регистра СССР (РРР) 1947 г. классификация речных судов была уточнена: класс «М» позволял выходить в Белое море, Обскую губу, восточную часть Финского залива и Ладожское озеро; класс «О» – в Онежское озеро, Финский залив до Кронштадта и Астраханский рейд в Каспийском море; класс «Р» – в прочие озера и реки; класс «Л» – верхние плесы больших рек.

Начиная с 1947 года буксиры мощностью 400 л.с. и лихтеры грузоподъемностью 1000 и 2000 тонн каждый СЗП и Беломорско-Онежского пароходства (БОП) осуществляли регулярные перевозки лесных грузов с побережья Белого моря в порты советской Прибалтики. В 1950 году в Ленинград и Калининград было доставлено 163 тыс. тонн леса. В 1956 году – 370 тыс. тонн, в 1958 году – 577 тыс. тонн. Стальные и композитные лихтеры строились в Финляндии, причем позднее некоторые из них были переделаны в самоходные.

В 1946-1947 годах был организован массовый морской перегон речных судов, полученных по репарациям из Германии. Всего было доставлено 1536 судов общей грузоподъемностью почти 500 тыс. тонн. В дальнейшем такие перегоны стали обычным явлением для Речфлота СССР, была организована Экспедиция Спецморпроводки, основной работой которой стал перевод речных судов в Сибирь Северным морским путем. Положительный практический опыт перегонов позволил сделать вывод о принципиальной возможности эксплуатации таких речных судов в некоторых морских районах.

Речные суда Волго-Донского пароходства (ВДП) стали заходить в порты Азовского моря без обычной, как прежде, перевалки груза в Ростове-на-Дону.

В 1949 году СЗП приступило к добыче и перевозке морского песка из Финского залива на стройки Ленинграда. В 1950 году было перевезено 360 тыс. тонн песка, в 1956 году – 300 тыс. тонн.

В Амурском пароходстве были организованы перевозки промышленных и продовольственных грузов из Благовещенска и Хабаровска на Сахалин без перевалки в Николаевске-на-Амуре, в годы Великой Отечественной войны осуществлялась перевозка нефти с восточного побережья Сахалина в Николаевск-на-Амуре.

Особенно активно освоение «малого» морского каботажного речными судами началось с появлением новых серий судов, имевших более высокий стандарт прочности и более совершенное оборудование.

Первоначально предполагалось строить морские мелкосидящие суда. К их проектированию приступили уже в 1948 году. В 1954 году был принят в эксплуатацию танкер «Олег Кошевой» с осадкой 4,0 м, предназначенный для перевозки нефти и нефтепродуктов из морских портов Каспия на Астрахань, без перегрузки на рейде. За счет постройки серии таких судов к концу 50-х годов удалось ликвидировать рейдовые перевалки на Астраханском и Красноводском рейдах. Однако танкеры типа «Олег Кошевой» (и их вторая серия – типа «Инженер А. Пустошкин»), а также близкие по концепции к ним сухогрузы типа «Инженер Белов» оказались не столь эффективными как ССП, так как не выбирали в реке значительную часть своей грузоподъемности.

Например, в 1964 году сухогруз типа «Инженер Белов» Каспийского пароходства вышел в пробный рейс из Ноушехра (Иран) в Щецин (Польша). При проходной осадке 3,0 м было взято на борт 1950 тонн жмыха (максимальная грузоподъемность 3700 тонн), рейс был совершен за 37,5 суток. В 1966 году были выполнены еще несколько рейсов, как через Волго-Балтийский путь, так и через Волго-Донской судоходный канал, примерно с таким же результатом. В итоге, суда этих типов весьма успешно работали на мелководные морские порты, но заходы на реку для них стали эпизодами [8].

Проектирование таких сухогрузных и нефтеналивных судов, пригодных для прямых перевозок между речными и морскими портами, на основе речных судов началось в конце 50-х годов. К строительству заводы приступили в начале 60-х годов. С выходом в прибрежные морские районы стали эксплуатироваться новые на тот момент сухогрузы пр. 781 типа «Балтийский», пр. 791 типа «Волго-Балт», пр. 576 типа «Шестая пятилетка», пр. 1000/800 типа «Беломорский», пр. 21-88 типа «Калининград» (с рефрижераторной модификацией в виде пр. 21-89), танкеры пр. 558 типа «Волгонепфть», пр. 576Т типа «ПавловГЭС» и нефтерудовозы пр. 1553. Суда проектов 781, 1553 имели класс Регистра СССР (ныне Российского морского Регистра Судоходства) с расчетной высотой волны 5 м, суда проектов 791, 558, 1000/800 – класс «М» Речного Регистра с расчетной высотой волны 3 м, суда проектов 576 и 576Т – класс «О» Речного Регистра с расчетной высотой волны 2 м.

С 1958 года для перевозки генеральных грузов и металла на линии Николаевск-на-Амуре – Москальво (Сахалин) Амурское речное пароход-

ство использовало 9 сухогрузов пр. 576. Всего за период с 1958 по 1965 год было выполнено 770 рейсов и перевезено 524 тыс. тонн груза.

С 1961 года БОП вывел на линии Мезень – Таллин, Архангельск – Кандалакша, Архангельск – Таллин, Ленинград – Котка 11 сухогрузов проекта 1000/800 и 7 сухогрузов типа «Онежский». Только судами типа «Беломорский» в 1963-1965 годах было совершено 544 рейса и перевезено 468 тыс. тонн леса, угля и щебня.

В 1958-1964 гг. в ЛИВТе под руководством Ю.Л. Беяка провели экспериментальную проверку прочности и мореходности речных судов в морских условиях. Первым был экспериментальный рейс сухогруза пр. 576 в Охотском море в 1958 году. Затем рейсы судов пр. 791, 576Т, 558 в Черном море и пр. 781 в Баренцевом море.

В 1962 году были осуществлены опытные перевозки нефтепродуктов на танкерс проекта 558 типа «Волгонефть» на Черном море.

В 1963 году сухогруз «Беломорский-14» (капитан Ю.А. Антонов) Беломорско-Онежского пароходства совершил первый в истории речного флота заграничный рейс из порта Шала (Онежского озера) в порт Котка (Финляндия).

В 1964 году танкеры «Важный» и «Волгонефть-9» выполнили по три рейса из Поволжья на Махачкалу с грузом сырой нефти туда и мазута обратно. В 1965 году уже 4 танкера проекта 558 стали работать на порт Махачкала, они за год совершили 26 круговых рейсов и перевезли 241 тыс. тонн нефти и нефтепродуктов.

В 1964 году на линии заграничного плавания на порты ГДР и Польши вышли суда СЗП. 7 октября 1964 года теплоход «Балтийский-4» перевез 1829 тонн металла из Череповца в Росток (ГДР), затем из Щецина уголь в Калининград. Всего за этот год суда СЗП перевезли по импорту более 100 тыс. тонн груза.

В 1964 году была организована линия Кандалакша – Череповец для транспортировки угля и железнорудного концентрата, а также рудничной стойки и соли, на 14 судах проекта 791 типа «Волго-Балт». За два года было перевезено 795 тыс. тонн груза в 307 рейсах.

На линии Череповец – Хельсинки, Череповец – Росток, Череповец – Пехлеви работали суда проекта 781 типа «Балтийский». 9 мая 1965 года «Балтийский-8» перевез 2 тыс. тонн шихты для газового завода в Хельсинки.

В августе 1965 года судно проекта 576 «Клайпеда» доставило 2 тыс. тонн пшеницы из порта Ейск в порт Ленинград.

В конце ноября 1965 года «Балтийский-14» прошел с помощью ледокола Финский залив, 1 декабря взял в порту Лиепая на борт 1500 тонн кокса в порт Оденсе (Дания). Зимой 1965-1966 годов судно отработало на порты Дании и Швеции. В эту же зиму «Балтийский-26» работал зимой в Каспийском море между Астраханью, Баку и Пехлеви (Иран).

В 1965 году экспортно-импортные перевозки осуществляли 8 сухогрузов СЗП, общий объем перевозок 92 тыс. тонн. В 1966 году – уже 13 судов, 256 тыс. тонн грузов.

Общий объем бесперевалочных смешанных река-море перевозок в 1965 году составил 5 млн. тонн грузов.

Суда Волго-Донского речного пароходства (ВДП) обеспечивали перевозку соли из Ахтубинска в Кандалякшу, Ригу и Таллин. В навигацию 1965 года впервые были осуществлены перевозки серного колчедана из Камбарки в Бердянск, а в обратном направлении – криворожской руды на Череповецкий металлургический комбинат.

В 1965 году танкер «Волгонепфть-14» пароходства «Волготанкер» начал экспортные перевозки нефтепродуктов рейсом Ярославль – Хельсинки.

В 1968 году после ввода в строй восстановленного Сайменского канала суда река-морс плавания начали перевозки угля, леса и нефтепродуктов через канал в порты Мустола, Лауритсала, Иматра. Первым был «СТ-804», затем пять судов типа «Беломорский» и ряд других судов.

В навигацию 1968 года Амурское речное пароходство организовало перевозки леса в порты Японии. Суда пароходства продолжают работать на линиях Благовещенск, Хабаровск – Сахалин, Магадан.

В 1969 году суда смешанного река-море плавания ЗРП, СЗП, БОП, ВДП в зимний период перевезли более 1 млн. тонн грузов, что позволило значительно (на 13-23%) повысить эксплуатационно-экономические показатели работы судов этого типа.

В 1970 году объем перевозок смешанного река-море плавания вырос в 2 раза по сравнению с 1965 годом и составил 8,5 млн. тонн груза с грузооборотом 13,6 млрд. тонно-км.

Только из состава СЗП на международных линиях работали 43 судна разных проектов. Они перевезли 76% от всех грузов, транспортировавшихся в порты Европы судами МРФ без перевалки в устьевых советских портах.

К 1970 году усилилась роль речных пароходства восточных бассейнов, только в интересах нефтегазовой промышленности Западной Сибири за год было перевезено 4,55 млн. тонн грузов.

В 1971 году танкер «Волгонепфть-55» начал бесперевалочные перевозки сырой нефти из Актау в Волгоград.

За решение уникальной научно-прикладной проблемы – создание и серийное строительство судов смешанного река-море плавания и осуществление бесперевалочных перевозок группе работников Минсудпрома и Минречфлота была присуждена Государственная премия СССР 1972 года.

Общий объем грузов, перевезенных судами Минречфлота в морском плавании, в 1972 году составил 23 млн. тонн. Начала работать уникальная Иранская линия – порты Ирана – порты северо-западной Европы,

протяженностью 13,5 тыс. км, по транспортировке промышленных грузов, хлопка, жмыхов.

В Правила РРР 1972 года впервые были введены описания районов и сезонов морского плавания судов с классом РРР (М-СП, а в 1977 году – М-СП, М-ПР, О-ПР).

В 1973 году суда СЗП приступили к перевозкам грузов из портов Финляндии в страны Западной Европы (90 тыс. тонн).

В 1974 году международные рейсы стали осуществлять суда Волжского объединенного речного пароходства.

В 1975 году объем перевозок судами СЗП металла, шихты, кокса из Череповца в порты Балтики, генеральных грузов между портами Западной Европы, Прикаспия и Средиземноморья, леса и угля в Сайменском канале составил 2,2 млн. тонн.

Сухогрузы смешанного плавания ЛОРП проектов 0025, 292 типа «Сибирские», 1743, 1743.1, 1743.7 типа «Омские» перевозили генеральные грузы из Осетрово, каменного угля из Джебарики – Хая и Сангары на реки Яну, Колыму, Индигирку, совершая при этом значительные морские переходы [9].

В итоге, в советское время объем перевозок примерно 1000 судами смешанного река-море плавания составлял около 23 млн. тонн груза (см. таблицу 2).

*Таблица 2*

*Данные по судам смешанного река-море плавания, принадлежавшим бывшим государственным речным пароходствам на 01.01.1994 г.*

Номер п/п	Судоходная компания	Суда смешанного плавания	
		сухогрузы	танкера
1.	Волготанкер		207
2.	Волжское речное пароходство	40	
3.	Камское речное пароходство	16	
4.	Московское речное пароходство	18	
5.	Волго-Донское пароходство	45	
6.	Кубанское речное пароходство	4	
7.	Северо-Западное пароходство	152	
8.	Беломорско-Онежское пароходство	118	
9.	Северное речное пароходство	20	
10.	Западное пароходство	26	
11.	Обь-Иртышское пароходство	4	
12.	Енисейское речное пароходство	6	
13.	Ленское речное пароходство	83	37
14.	Амурское речное пароходство	33	5
15.	АСК «Укрречфлот», данные на 01.01.95	75	
	Итого в речных пароходствах РФ	565	249

В конце 1980-х-начале 1990-х годов начался новый этап развития ССП. Как и ранее, причины нового всплеска интереса к этим судам носили сугубо экономический характер. С одной стороны, началась активная капитализация страны, появились частные судовладельцы, с другой – больше прав было передано речным пароходствам. Последние ранее не проявляли себя активно в международных перевозках и обладали большим количеством «исходного материала» (судов внутреннего плавания), который потенциально мог быть конверсирован в суда смешанного река-море плавания. Все это происходило на фоне разрушения централизованной системы внешнеэкономической деятельности и резкого дробления партий груза (до 1000-5000 т). Эти суда как нельзя лучше подходили для работы в рамках новых экономических условий [10].

Значительные преимущества ССП, находящихся под контролем отечественных судовладельцев, перед морскими судами, включая относительно меньший (на начало 90-х годов) средний возраст и меньшую остаточную стоимость, позволили им прочно занять место на рынке транспортных услуг, ранее принадлежавшее морским судам близкой грузоподъемности.

Рост количества судов смешанного плавания и морских ограниченных районов плавания в классах РС за счет модернизации речных судов был весьма бурным – до сотни единиц в год. В итоге к началу 2003 года относительная доля ССП составляла 60 % от общего числа транспортных судов с классом РС и продолжала расти.

По состоянию на январь 2017 года основу флота судов смешанного плавания и ограниченных районов плавания составляют проекты судов, указанные в таблицах 3 (сухогрузные) и 4 (нефтеналивные).

Там же представлены классы PPP и РС этих судов. Все суда нового поколения (т.е. построенные в XXI веке) имеют классы РС R2-RSN, R2, R1 и PPP M-СП, M-ПР.

Суда массовых серий, построенные в СССР, в результате проведенных в 90-е годы реклассификаций, распределены по классам как РС, так PPP.

Например, сухогрузы типа «Омский», большинство из которых было построено в классе PPP «М-ПР», ныне имеют класс РС R2 (2 единицы), R2-RSN (82 единицы), R3-RSN (9 единиц) и класс PPP «М-СП» (1 единица).

Сухогрузы типа «Волго-Дон» проекта 1565 с модификациями, большинство из которых было построено в классе PPP «О-ПР», ныне имеют класс РС R2-RSN (13 единиц), R3-RSN (4 единиц), класс PPP «М-СП» (6 единиц) и «М-ПР» (17 единиц).

Сухогрузы типа «Волжский» проекта 05074 с модификациями, большинство из которых было построено в классе PPP «О-ПР», ныне имеют класс РС R2-RSN (26 единиц) и R3-RSN (6 единиц).



Сухогрузы типа «СТ», большинство из которых было построено в классе PPP «М-ПР», ныне имеют класс РС R2-RSN (21 единица), а в классе «М-ПР» осталось 10 судов, в основном, наиболее слабого проекта Р-168 (7 судов), а также 3 судна проекта 19620.

Танкеры типа «Волгоневфть» проекта 1577/550А, большинство из которых было построено в классе PPP «М-ПР», ныне имеют класс РС R2-RSN (13 единиц), класс PPP «М-СП» (7 единиц). В классе PPP «М-ПР» находится 71 танкер, а 22 судна перешли в силу плохого технического состояния в более слабый класс PPP «О-ПР».

Танкеры типа «Ленаневфть» проекта 621, имевшие с постройки класс PPP «М-СП», ныне имеют класс РС R2-RSN (8 единиц), R3-RSN (8 единиц). В классе PPP «М-СП» осталось 8 судов, один танкер переведен в класс «М-ПР».

Наблюдается и тенденция переводить суда, имевшие классы РС, под наблюдение PPP и других классификационных обществ (к примеру, Регистр судоходства Украины, Болгарский регистр, Азиатское классификационное общество и др.), однако таких случаев немного и, в основном, они связаны с неудовлетворительным состоянием этих судов. Для того чтобы не списывать суда, но и не ремонтировать в том объеме, который предписан требованиями РС, судовладельцы возвращают свои суда на реку. Например, переведены на внутренние водные пути по одному судну проекта 1677М типа «Олег Кошевой» и проекта 1557 типа «Сормовский», два «Нефтерудовоза», два танкера проекта 610.

Таблица 3

*Основные проекты самоходных сухогрузных судов  
смешанного река-море плавания и ограниченного района плавания  
(по состоянию на январь 2017 года)*

Название типа, номер проекта	Суда с классом PPP			Суда с классом РС			
	М-СП	М-ПР	О-ПР	R3- RSN	R2- RSN	R2	R1
Новые суда							
Нева-Лидер, RSD49*	-	-	-	-	-	10	-
Герой Сталинграда, RSD44*	-	10	-	-	-	-	-
Сахона, DCV27*	-	-	-	-	-	-	1
Scala, DCV26*	-	-	-	-	-	-	1
Sparta, DCV25*	-	-	-	-	-	-	1
Св. Николай, RSD20*	-	-	-	-	-	1	-
Хазар, RSD19	-	-	-	-	-	-	4
UCF, RSD18*	-	-	-	-	-	5	-
Евро круизер, RSD17*	-	-	-	-	-	-	5
Azov XL, RSD12	-	-	-	-	-	4	-
Ommaх, RSD08	-	-	-	-	1	-	-
Танаис, 007RSD07*	-	-	-	-	-	1	-

Продолжение табл. 3

Название типа, номер проекта	Суда с классом PPP			Суда с классом PC			
	М-СП	М-ПП	О-ПП	R3- RSN	R2- RSN	R2	R1
Челси, 005RSD06, RSD11*	-	-	-	-	9	-	-
Palmali Trader, 006RSD05*	-	-	-	-	-	8	-
Caspian Express, 003RSD04*, 003RSD04/ALB02, 003RSD04/ALB03	-	-	-	-	-	9	3
Карелия, 005RSD03*	-	-	-	-	-	12	-
Надежда, 006RSD02*	-	-	-	-	1	-	-
Леда, RSD58*	-	-	-	-	1	-	-
ALB05	-	-	-	-	-	1	-
Русич, 00101	-	-	-	-	-	-	13
Валдай, 01010	-	-	-	-	-	-	4
Южный Буг, 17620	-	-	-	-	-	-	9
Существующие суда							
Выг / Иртыш / Суна, 10522 / 0121, 10523, 10535, 199/200	-	-	-	-	-	-	13
Дон, PR-205	-	-	-	-	-	-	4
Россия, 17310	-	-	-	-	-	-	2
Иван Щепетов, 16510, 16530	-	-	-	-	-	2	2
Волга, 19610	-	-	-	-	-	1	28
Волга, 19611	-	-	-	-	-	-	7
Волго-Дон, 507Б	4	1	47	5	2	-	-
Волго-Дон, 1565, 1565М, 1565А, М1565	6	17	20	4	13	-	-
Волжский, 05074, 05074М, 05074А	-	-	1	6	26	-	-
Сибирский, 292	8	-	-	3	4	-	-
Сибирский, 0225	1	-	-	-	11	-	-
Волго-Балт, 791	1	-	-	-	-	-	-
Волго-Балт, 2-95А	4	-	-	27	6	-	-
Амур, 92-040	-	-	-	1	23	-	-
Сормовский, 1557	1	-	-	-	44	-	-
Сормовский, 614	-	-	-	-	6	-	-
Сормовский, 488А, 488АМ	-	-	-	-	5	20	-
Омский, 1743, 1743.1, 1743.3, 1743.7	1	-	-	9	82	2	-
Славутич, Д080М	3	2	-	1	3	2	-
Балтийский, 613, 620, 781, 781Э	-	-	-	-	5	7	-
Морской, 1814	-	-	-	-	1	-	-
Ладога, П-787, 285, 289	-	-	-	-	1	3	-
СТК, 326, 326.1	3	6	-	1	21	-	-

Продолжение табл. 3

Название типа, номер проекта	Суда с классом PPP			Суда с классом PC			
	М-СП	М-ПР	О-ПР	R3- RSN	R2- RSN	R2	R1
Рефрижератор, 037	-	-	-	-	1	-	1
СТ, 19620	-	3	-	-	12	-	-
СТ, P168M	-	7	-	-	1	-	-
СТ, 191	-	-	-	-	8	-	-
Кишинев, 1572	-	-	-	-	-	-	6
Василий Шукшин, 1588, 15881	-	-	-	-	-	-	5
Невский, P32	-	19	-	-	-	-	-
Калининград, 21-88	8	4	16	-	-	-	-
Калининград, 21-89	-	2	3	-	-	-	-
Фин.1000	5	8	-	-	-	-	-

Примечание. \* – Проект Морского Инженерного Бюро

Таблица 4

*Основные проекты самоходных нефтеналивных судов  
смешанного река-море плавания и ограниченного района плавания  
(по состоянию на январь 2017 года)*

Название типа, номер проекта	Суда с классом PPP			Суда с классом PC			
	М-СП	М-ПР	О-ПР	R3-RSN	R2-RSN	R2	R1
Новые суда							
БФ Танкер, RST54*	-	7	-	-	-	-	-
ВФ Танкер, RST27*	-	-	-	-	-	35	-
Глостер, RST26*	-	-	-	-	-	1	-
Новая Волгонефть, RST25*	-	-	-	-	7	-	-
Новая Армада, RST22, RST22M*	-	-	-	-	-	9	12
Армада, 005RST01*	-	-	-	-	-	10	-
Роскем, RST14*	-	-	-	-	3	-	-
Астон Трейдер, RST09*	-	-	-	-	3	-	-
Нарва, RST05*	1	-	-	-	-	1	-
Эко Маринер, 001RST02*	-	-	-	1	-	-	-
ALB06	-	-	-	-	-	1	-
00201Л	-	-	-	-	-	-	2
00210, 00215, 00230	-	-	-	-	-	-	7
00216	-	-	-	-	3	-	-
19612	-	-	-	-	-	-	5
19614	-	-	-	-	25	-	-
19619	-	-	-	-	-	-	11

Продолжение табл. 4

Название типа, номер проекта	Суда с классом PPP			Суда с классом PC			
	М-СП	М-ПР	О-ПР	R3-RSN	R2-RSN	R2	R1
19900	-	-	-	-	-	6	-
17103	-	-	-	-	-	2	-
15790	-	-	-	-	1	-	-
52	-	-	-	-	3	-	-
507AT	1	-	-	-	-	-	-
HCR / VHХ (Китай)	-	-	-	-	17	2	-
Существующие суда							
Волгонефть, 558/550	-	3	12	-	-	-	-
Волгонефть, 1577/550А	7	71	22	-	13	-	-
Волгонефть, 630, 630.1	1	-	-	-	7	-	-
Ленанефть, 621, 621.1	8	1	-	8	8	-	-
Ленанефть, Р77	3	32	-	2	-	-	-
Нефтерудовоз, 1553, 1570	1	1	-	-	21	-	-
Бункеровщик, 610	1	1	-	(11 - R3)	2	16	8
Олег Кошевой, 1677, 1677М, 16776	1	-	-	-	-	-	19
Волгофлот, 05074Т	-	9	-	-	-	-	-
Волго-Дон, 1565Т, 507Т	-	4	-	-	-	-	-
ИркутскГЭС, 576ТМ после модернизации	-	3	-	-	-	-	-

Примечание. \* – Проект Морского Инженерного Бюро

Количество, средний возраст и общее техническое состояние наиболее распространенных проектов «старых» грузовых судов внутреннего и смешанного плавания по состоянию на январь 2017 года приведено в таблице 6.

По сухогрузным судам необходимо обратить внимание на сухогрузные суда, выполняющие наибольший объем перевозок в бассейнах рек Волги, Камы и Дона. Это суда грузоподъемностью 2000 т проектов 576 типа «Шестая пятилетка» и 21-88 типа «Калининград», грузоподъемностью 5000 т проекта 05074 типа «Волжский», проектов 507Б, 1565 типа «Волго-Дон».

Средний возраст судов проекта 576 – 56,2 года, 21-88 – 52,4 года. Из 118 судов этих проектов 36 ед. (31%) в неудовлетворительном техническом состоянии.

Средний возраст судов типа «Волжский» проекта 05074 – 27,7 лет (33 судна), типа «Волго-Дон» проекта 1565 – 40,4 года (всего 69 судов), проекта 507Б – 44 года (всего 64 судна). Из 166 судов этих проектов 35 ед. (21 %) в неудовлетворительном техническом состоянии. Основным фактором, определяющим техническое состояние судов типа «Волго-Дон»,

является износ корпуса. У большинства судов типа «Волго-Дон» выработан ресурс главных двигателей типа Г-60 и 8NVD48.

Средний возраст 145 танкеров типа «Волгонефть» составляет по проекту 558/550 – 49,4 года (18 судов), по проекту 1577/550А – 42,1 год (118 судов), по проекту 630 – 28,2 года (9 судов). Из них 21 судно имеет оценку «негодное» (14,5 %).

Актуальным является капитальный ремонт и модернизации судовых энергетических установок танкеров за счет замены главных и вспомогательных двигателей, электрического оборудования, противопожарной защиты.

При этом 145 танкеров типа «Волгонефть» со средним возрастом 42,1 года, 46 «Ленанефтей» проекта Р-77 (39 лет), 26 однокорпусных нефтерудовозов (36,2 года) не могут быть безопасным инструментом для перевозки опасных грузов.

Только на 5 судах типа «Волгонефть» были путем модернизации выполнены все требования Международной Конвенции МАРПОЛ, а еще на 35 – осуществили подъем второго дна (т.е. выполнили эту конвенцию частично). Нисколько не лучше с другими типами «старых» танкеров (см. таблицу 5).

Таблица 5

*Основные проекты «старых» нефтеналивных судов  
и степень удовлетворения МК МАРПОЛ*

Проект	Количество судов	Средний возраст	Проведена модернизация в части поднятия второго дна	Полностью удовлетворяют МАРПОЛ
Тип Волгонефть	145	42,1	40	5
Тип Ленанефть	71	35,8	10	10
Тип Нефтерудовоз	25	36,2		
Тип Волжский, 05074	9	33,2		
Тип Волго-Дон	4	49,8	1	

По всей группе танкеров отмечается интенсивный коррозионный износ корпусных конструкций, в связи с чем ежегодно возрастают объемы ремонтно-восстановительных работ. Но и эти возрастающие из года в год объемы ремонта не покрывают фактические потребности – суда вводятся в эксплуатацию с минимальными запасами прочности, которых не хватает на пятилетний цикл между классификационными освидетельствованиями.

Из 4190 сухогрузных барж, имеющих средний возраст 35,1 год, 18,7 % имеют негодное и ограниченно годное техсостояние. Основные проблемы с этой группой флота – поддержание техсостояния за счет

ремонта корпусов, в том числе в доках (на слипах). При решении этих проблем эксплуатация сухогрузных барж может быть продолжена в ближайшие 10-15 лет.

Из 692 нефтеналивных барж, имеющих средний возраст 33,4 года, 21,4 % имеют негодное и ограниченно годное техсостояние.

*Таблица 6*

*Количество, средний возраст и общее техническое состояние наиболее распространенных проектов «старых» грузовых судов внутреннего и смешанного плавания (по состоянию на январь 2017 года)*

Тип, проект, дедвейт	Количество судов в классе PPP	Количество судов в классе РС	Средний возраст, год.	Количество судов с оценкой «негодное» и «ограниченно годное»*
<b>Сухогрузные самоходные суда</b>				
Волжский, 05074 / 05074А / 05074М, 5100/3900 тонн	1	32	27,7	3
Волго-Дон, 1565, 1565М, 1565А, М1565 5100 тонн	52	17	40,4	10
Волго-Дон, 507Б, 5210 тонн	57	7	44,0	22
Омский, 1743, 3070 тонн	3	93	34,2	7
Волго-Балт, 2-95, 791, 3140 тонн	8	33	39,7	5
Калининград, 21-88, 21-89, 2200 тонн	48	-	52,4	7
Шестая пятилетка, 576, 2050 тонн	70	-	56,2	29
СТК, 326, 326.1, 1540 тонн	9	22	33,7	6
Окский, 559, 559Б, 559М, 1740 тонн	46	-	43,0	5
Окский, Р97, 1900 тонн	19	-	36,1	2
<b>Нефтеналивные самоходные суда</b>				
Волгонефть, 1577/550А, 4875 тонн	105	13	42,1	17
Волгонефть, 558/550, 4900 тонн	18	-	49,4	3
Волгонефть, 630, 5000 тонн	1	8	28,2	1
Волгофлот, 05074Т, 5210 тонн	9	-	33,2	-
Волго-Дон, 507Б, 1565Т, 5210 тонн	4	-	49,8	-
Нефтерудовоз, 1553, 1570, 3345/2855 тонн	4	21	36,2	1
ГЭС, 576Т, 1820 тонн	4	-	57,0	1
Ленанефть, 621, 3390 тонн	9	16	29,9	1
Ленанефть, Р77, 2890 тонн	44	2	39,0	5

Продолжение табл. 6

Тип, проект, дедвейт	Количество судов в классе РРР	Количество судов в классе РС	Средний возраст, год.	Количество судов с оценкой «негодное» и «ограниченно годное»*
<b>Сухогрузные несамоходные суда</b>				
003020, 003040, 4640/4000 тонн	7	-	14,9	-
Волжский, 05074, 5100 тонн	13	-	31,5	3
16800, 2500 тонн	101	4	31,9	5
16801, 2600 тонн	103	16	30,2	8
Р-56, 2800 тонн	499	-	37,1	79
Р-79, 3750 тонн	49	-	34,6	4
Р-85, 2500 тонн	147	-	34,3	3
1787, 1787У, 3600 тонн	81	-	40,8	10
459, 1700 тонн	32	-	51,0	12
1653Б, 600 тонн	15	-	45,5	4
Р-89, 1000 тонн	77	-	40,3	10
942, 450 тонн	590	-	39,7	155
943	146	-	40,0	46
81210, 250 тонн	174	-	25,4	53
183, 200 тонн	617	-	36,6	217
<b>Нефтеналивные несамоходные суда</b>				
16800Н, 3000 тонн	16	-	27,8	-
05074Н, 4800 тонн	8	-	33,8	-
1565Т, 4600 тонн	2	-	49,0	-
Р-27, 4600 тонн	41	-	41,6	6
Р-43, 9200 тонн	22	-	39,5	-
1635Т, 2000 тонн	10	-	17,0	6
Р-93, 400 тонн	60	-	38,8	26
Р-63, 200 тонн	70	-	35,8	33

\* – оценка «ограниченно годное» применялась только для самоходных судов, для несамоходных судов указано количество судов с оценкой «негодное»

Данные статистики наглядно демонстрируют, что существующий флот смешанного плавания строился в основном в 70-80-е годы прошлого столетия.

Для грузовых судов наиболее важным элементом, определяющим их фактический ресурс, является корпус.

Данные по толщинам основных связей корпусов типовых ССП приведены в таблице 7. Построечные толщины главных элементов корпуса – настилов, обшивки, находятся в пределах 6-8 мм.

Таблица 7

Толщины и профили набора корпусов основных типов отечественных ССП

Номер проекта судна	326.1	05074А	1743	1743.1	2-95AR	2-95А	92-040	621	292	0225	05074М
1. Тип	СТК	Волжский	Омский	Омский	Волго-Балт	Амур	Лена-Нефть	Сибирский	Волжский		
2. Общие данные по проекту											
Длина расчетная L, м	77,45	100,78	102,15	102,15	107,43	107,43	109	115,58	121,25	122	132,20
Шпация основного набора, м	0,550	0,600	0,600	0,600	0,550	0,550	0,550	0,530	0,550	0,550	0,600
3. Предел текущей матернала, мПа											
Комингса	235	390	295	295	235	355	350	235	390	320	390
Палубы	235	235	235	235	235	235	235	235	315	320	235
Днища	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235
3. Наружная обшивка, мм											
Ширстрек		9,0	10,0	10,0	13,0	12,0	13,0	12,0	12,5	12,5	9,0
Налводный борт	8,0	10,0	7,0	8,0	8,0	8,0	9,0	10,0	12,5	11,0	10,0
Пояс переменной ВЛ	7,0	10,0	7,0	8,0	8,0	8,0	9,0	10,0	11,0	11,0	10,0
Подводный борт	7,0	10,0	7,0		9,0	8,0	9,0	10,0	11,0	11,0	10,0
Скула	8,0	10,0	10,0	10,0	9,0	8,0	9,0	10,0	9,5	11,0	10,0
Днище	7,0	7,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	9,0	8,5	8,5	7,0
Горизонтальный киль	7,0	7,0	8,0	8,0	9,0	9,0	8,0	9,0	8,5	12,0	7,0
4. Настилы, мм											
Второго дна	10,0	12,0	8,0	10,0	10,0	8,0	12,0	7,0	12,0	12,0	12,0
Верхней палубы	12,0	15,0	10,0	10,0	13,0	12,0	13,0	12,0	12,5	12,5	15,0
5. Обшивка 2-го борта, мм											
Нижний пояс	7,0	7,0	6,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	8,0	7,0
Средний пояс	7,0	7,0	6,0	8,0	8,0	7,0	8,0	7,0	8,0	8,0	7,0
Верхний пояс	7,0	9,0	6,0	8,0	10,0	7,0	10,0	7,0	8,0	13,0	7,0



Продолжение табл. 7

Номер проекта судна	326.1	05074А	1743	1743.1	2-95AR	2-95A	92-040	621	292	0225	05074М
6. Обшивка поперечных переборок, мм											
Нижний пояс	6,0	7,0	5,0	5,0	7,0	6,0	8,0	7,0	7,0	7,5	7,0
Средний пояс	6,0	6,0	5,0	5,0	6,0	6,0	8,0	7,0	6,0	7,5	6,0
Верхний пояс	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	8,0	7,0	6,0	7,5	5,0
7. Набор в двойном дне											
ВК, мм	8,0	8,0	6,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	8,5	8,0
Днищевой стрингер, мм	8,0	8,0	6,0	8,0	7,0	7,0	8,0	7,0	8,0	8,5	8,0
Флоры, мм	8,0	8,0	6,0	8,0	8,0	7,0	8,0	7,0	8,0	8,5	7,0
Продольные РЖ 2-го дна	65x130x8	12 пб.	12 пб.	12 пб.	12 пб.	12 пб.	14а пб.	12 пб.	130x65x8	16 пб.	12 пб.
Продольные РЖ днища	65x100x7	12 пб.	12 пб.	12 пб.	12 пб.	12 пб.	14а пб.	12 пб.	100x65x8	16 пб.	12 пб.
8. Набор в двойных бортах											
Холостой шпангоут	50x100x6	12 пб.	10 пб.	12 пб.	12 пб.	12 пб.	12 пб.	12 пб.	16 пб.	16 пб.	12 пб.
Рамный шпангоут, мм	6,0	7,0	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8,	8,0	7,0
Бортовой стрингер, мм	6,0	7,0	5,0	6,0	7,0	7,0	10,0	9,0	8,0	8,0	7,0
Продольные РЖ верхней палубы		166 пб.	12 пб.	12 пб.	10,0	130x8/ 100x12	180x13/ 150x13	14а пб.	150x90x10	26 пб.	166 пб.
Продольные РЖ 2-го борта		10 пб.	10 пб.	10 пб.	12 пб.	12 пб.	12 пб.	12 пб.	130x65x8	16 пб.	10 пб.
9. Продольный комингс, мм	18,0	16,0	14,0	14,0	15,0	315,0	15,0	-	17,0	16,0	16,0

Нормативные сроки службы судов задавались при проектировании и составляют обычно 25-35 лет при условии сохранения построечных ограничений по районам и сезонам плавания.

Для ССП, находящихся в европейской части России (см. табл. 8), с учетом изменений условий эксплуатации в последние 10-15 лет (существенное увеличение времени нахождения в морских условиях и при переменных нагрузках) ресурс корпуса, с точки зрения износов и усталости, вырабатывался быстрее, чем это предполагалось при проектировании. Результатом являются невиданные ранее объемы замен конструкций во время ремонтов, фактическое сокращение времени между докованиями судов.

Сложная ситуация сложилась для ССП в северных регионах (см. таблицу 9). С одной стороны, навигационный период существенно меньше, чем в европейской части, скорость изнашивания в малосоленой воде Северного Ледовитого океана заметно ниже, поэтому ресурс расходуется меньше, но с другой стороны, календарный возраст оставшихся в этих регионах весьма судов значителен.

Расчетные скорости изнашивания корпусов приведены в таблице 10. Как показано в [10], эти величины имеют близкую к 90 % обеспеченность при условии, что судно работает в пресной воде не менее половины эксплуатационного периода. Фактическое нахождение в соленой воде заметно больше, иногда до 100%. Поэтому за 12-15 лет работы строительный запас на износ и коррозию существующих ССП вырабатывается полностью.

Результатом являются невиданные ранее объемы замен конструкций во время ремонтов, фактическое сокращение времени между докованиями судов.

В последнее время число трещин в корпусах ССП резко возросло. Практически ни один ремонт не обходится без устранения трещин. Объем усталостных повреждений определяется не формальным возрастом судна, а временем эксплуатации в море. Сами трещины появляются как в исходной конструкции корпуса судна, так и по вновь установленным связям (накладным полосам, дополнительным ребрам жесткости).

Например, на многих судах пр. 1565, 507Б, 05074, 0225, 292, 1743, а также на некоторых судах пр. 2-95, 92-040 были зафиксированы трещины в полках комингсов в районе средней части по кромкам вырезов под домкрат, с началом трещины от угла выреза либо от окончания рельса для катков люковых крышек или сварного шва. Трещины устранялись путем замены дефектного участка конструкции. Через несколько лет они были вновь обнаружены в тех же местах, причем были зафиксированы случаи перехода трещины на стенку комингса. Причина – неудачное конструктивное оформление вырезов в полках продольных комингсов и мест обрыва рельс или стыковки.

Возрастная структура судов смешанного плавания европейской части РФ  
(по состоянию на октябрь 2016 года)

Тип и название судна	Распределение по филиалам Российского Речного Регистра													
	Северо-Западный		Верхне-Волжский		Средне-Волжский		Нижне-Волжский		Камский		Московский		Донско-Кубанский	
	кол-во	средний возраст	кол-во	средний возраст	кол-во	средний возраст	кол-во	средний возраст	кол-во	средний возраст	кол-во	средний возраст	кол-во	средний возраст
Всех судов	276	34,05	139	36,54	46	40,45	114	36,55	19	30,87	35	26,04	886	30,17
Всего транспортных*	164	34,62	135	37,05	44	41,95	96	37,96	16	34,79	16	31,84	268	36,45
из них самоходных	133	37,46	120	37,84	43	41,94	92	38,26	12	34,81	12	36,28	227	37,99
Сухогрузных	50	35,17	52	37,82	9	46,86	39	41,26	5	29,72	5	42,39	38	42,21
Наливных	43	43,97	52	37,59	33	40,98	39	35,83	4	42,01	1	3,38	41	38,49
Пассажирских	4	44,78	1	61,42	-	-	1	25,39	1	3,60	1	26,39	79	37,02
Букиров и толкачей,	36	32,06	15	37,16	1	29,35	13	37,51	2	48,73	5	38,72	69	36,47
из них	31	22,41	15	30,73	1	42,36	4	31,27	4	34,72	4	18,53	41	27,94
несамоходных	18	24,09	6	32,3	-	-	3	29,56	4	34,72	2	28,39	36	27,56
Сухогрузных	13	20,08	9	29,69	1	42,36	1	36,40	-	-	2	8,66	5	30,72
Наливных	93	31,66	4	19,39	2	7,37	17	29,79	3	9,97	19	21,16	188	33,31
всего нетранспортных*	69	30,66	3	12,71	1	12,42	10	22,16	2	1,75	10	16,60	162	33,23
из них самоходных	24	34,54	1	39,40	1	2,31	7	40,69	1	26,39	9	26,22	26	33,80
из них несамоходных	4	51,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	36,9
Транспортные самоходные маломерные	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Транспортные несамоходные маломерные	13	42,63	-	-	-	-	1	15,38	-	-	-	-	416	24,75
Нетранспортные самоходные маломерные	2	7,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	13,78
Нетранспортные несамоходные маломерные	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* Без учета маломерных судов

Источник: Российский Речной Регистр

Таблица 9

Возрастная структура судов смешанного плавания восточных бассейнов  
(по состоянию на октябрь 2016 года)

Тип и название судна	Распределение по филиалам Российского Речного Регистра															
	Обла- Иртышский		Ленский		Северный		Енисейский		Амурский		Западно- Сибирский		Восточно- Сибирский			
	кол- во	средний возраст	кол- во	средний возраст	кол- во	средний возраст	кол- во	средний возраст	кол- во	средний возраст	кол- во	средний возраст	кол- во	средний возраст		
Всех судов	198	33,67	85	32,02	79	36,53	40	34,82	20	39,05	34	28,51	1	1,93		
Всего транспортных*	191	33,62	76	32,82	79	36,85	31	37,56	14	43,22	30	28,66	1	1,93		
из них самоходных	68	39,75	44	36,75	59	38,16	21	42,83	7	39,39	7	30,01	-	-		
Сухогрузных	16	46,60	12	34,35	10	46,77	14	48,08	1	21,39	-	-	-	-		
Наливных	20	39,1	26	36,72	8	38,27	3	37,35	1	55,16	1	33,3	-	-		
Пассажирских	-	-	-	-	2	38,9	2	20,87	1	37,40	-	-	1	0,66		
Букиров и толкачей	32	36,73	6	41,72	39	35,89	2	35,65	4	40,45	6	29,47	-	-		
из них самоходных	123	30,23	32	27,41	20	33,0	10	26,48	7	47,05	23	28,25	-	-		
Сухогрузных	101	31,66	30	27,66	15	32,32	8	26,69	6	48,83	18	29,35	-	-		
Наливных	22	23,68	2	23,73	5	35,03	2	25,61	1	36,4	5	24,3	-	-		
Всего нетранспортных**	6	35,76	7	26,56	18	37,62	9	25,38	6	29,31	4	27,4	1	1,93		
из них самоходных	5	34,1	7	26,56	12	39,57	3	22,13	2	28,44	4	27,4	1	1,93		
из них несамоходных	1	44,1	-	-	6	33,74	6	27,00	4	29,75	-	-	-	-		
Транспортные само- ходные маломерные	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Транспортные неса- моходные маломерные	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Нетранспортные само- ходные маломерные	1	31,50	2	20,89	2	13,94	-	-	-	-	-	-	-	-		
Нетранспортные неса- моходные маломерные	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

\* - без учета маломерных судов

Источник: Российский Речной Регистр

Таблиця 10

*Расчетные скорости изнашивания, мм/год*

Элемент конструкции корпуса	PPP (СВВП)	РС (ССП)	PPP (ССП)	Г.В. Егоров, (ССП)
Настил верхней палубы	0,03 (0,12...0,18)	0,07 (0,18)	0,08 (0,15...0,20)	0,08 (0,13...0,20)
Надводный борт	0,04	0,07 (0,18)	0,12	0,08
Борт переменной ВЛ	0,05	0,07...0,15 (0,15...0,19)	0,12	0,12...0,15
Подводный борт	0,05	0,10...0,13	0,12	0,12...0,15
Скуловой пояс	0,08	0,10 (0,15)	0,17	0,12...0,15
Днищевая обшивка	0,05	0,11...0,14	0,11	0,12...0,15
Горизонтальный киль	0,05	0,14...0,16 (0,18...0,23)	0,11	0,12...0,15
Настил второго дна	0,05 (0,12)	0,08...0,21 (0,15...0,28)	0,08 (0,15)	0,10...0,17 (0,15...0,17)
Обшивка второго борта	0,03...0,05 (0,07...0,12)	0,08...0,11 (0,18...0,28)	0,06...0,08 (0,07...0,20)	0,13...0,15 (0,15...0,17)
Обшивка переборок	0,03...0,05 (0,07...0,12)	0,07...0,09 (0,09...0,18)	0,06...0,08 (0,07...0,20)	0,10...0,13 (0,13...0,18)
Продольные РЖ и бимсы ВП	0,03 (0,12...0,18)	0,08...0,13 (0,14...0,23)	0,08 (0,08...0,20)	0,12...0,15 (0,15)
Рамный набор ВП	0,03 (0,12...0,18)	0,08...0,15 (0,12...0,19)	0,08 (0,08...0,20)	0,08...0,10 (0,10...0,15)
Комингсы	0,03	0,07 (0,11)	0,08 (0,10)	0,08 (0,10)
Набор двойных бортов	0,06	0,07...0,15 (0,12...0,19)	0,08...0,12	0,10...0,15 (0,13...0,15)
Набор двойного дна	0,06	0,10...0,14	0,11...0,12	0,12...0,17 (0,12...0,17)

Кроме того, анализ накопленного опыта применения накладных полос в качестве средства обеспечения стандарта общей прочности показал, что формальное удовлетворение требований Правил к величине момента сопротивления может быть более опасно, чем исходное состояние корпуса судна без накладных полос. Некачественные подкрепления могут существенно снизить фактический усталостный ресурс корпуса при переменной нагрузке и формальном увеличении запаса предельной прочности для однократного нагружения.

Длительная эксплуатация позволила выявить существенные конструктивные недостатки танкеров типа «Волгонефть», во многом связанные с отсутствием на момент их создания опыта проектирования корпусов судов из стали повышенной прочности:

- резкий переход в носовой и кормовой оконечностях от стали повышенной прочности 09Г2 к обычной стали ВстЗсп (сталь повышенной

прочности использовалась в крайних поясах эквивалентного бруса – шп. 61-160) и существенное уменьшение здесь же толщин палубы и обшивки корпуса (толщины палубы 8 мм в средней части сохранялись только на участке шп. 61-142, далее переходят в 7 мм и даже после шп. 167 – в 6 мм);

- изменение системы набора в корме с продольной на поперечную, что приводит к существенному уменьшению момента сопротивления эквивалентного бруса и предельного момента в этом районе (район шп. 170) – фактически к созданию опасного с точки зрения перелома сечения перед жилой надстройкой;

- малая для танкера толщина верхней палубы 8 мм, что даже для класса «М» не обеспечивает без ремонта срок служб более 10 лет;

- низкая устойчивость продольных ребер жесткости днища и второго дна (полособульб 10 с пролетом 1980 мм при толщине стенки 6 мм), что приводит к их деформированию даже в обычных эксплуатационных условиях с накоплением повреждений корпуса в целом в виде известной для этого класса судов «горбатости» – значительного пластического перегиба со стрелками, достигающими 400-800 мм;

- холостые шпангоуты также выполнены из такого полособульба 10, что привело к появлению гофрировок по борту – известный визуальный эффект под названием «худая лошадь»;

- крайне малые толщины переборок второго борта (серединные пояся) – 5,0 мм и настила второго дна – 6,0 мм и связанные с ними высокая вероятность образования свищей, что в свою очередь приводит к загрязнению грузом балластных танков, при этом ресурс этих связей не превышает 10 лет;

- крайне малые толщины поперечных водонепроницаемых и грузонепроницаемых переборок второго борта - серединные пояся 5,0 мм, прочие – 6,0 мм;

- толщина стенок поперечного и продольного рамного набора 6 мм не обеспечивает надлежащего ресурса по износу конструкции в целом;

- толщина карлингсов верхней палубы 7 мм, учитывая, что в отличие от современных танкеров этот продольный набор находится не над, а под палубой, в самом грузовом танке, понятно, что его ресурс не превышает без ремонта 10 лет, так как находится в зоне коррозионного влияния паров нефти.

В итоге, по всей группе танкеров отмечается интенсивный коррозионный износ корпусных конструкций, в связи с чем ежегодно возрастают объемы ремонтно-восстановительных работ. Но и эти возрастающие из года в год объемы ремонта не покрывают фактические потребности – суда вводятся в эксплуатацию с минимальными запасами прочности, которых не хватает на пятилетний цикл между классификационными освидетельствованиями. Объемы ежегодных ремонтов резко выросли и составляют для судов типа «Волгонепфть» 100-200 тонн замен.

Результатом эксплуатации танкеров типа «Волгонефть» с выходом в море явились грандиозные объемы восстановления изношенных элементов корпуса, включая полную замену грузовой зоны (от форпиковой переборки до носовой переборки насосного отделения).

Старение флота ССП наряду с существенным снижением уровня компетентности и ответственности экипажей, особенно в небольших компаниях, приводит к росту аварийности.

Исследование авторами риска аварий, происшедших с ССП, что ряд опасностей имеет более высокую вероятность в катастрофах, чем при всех авариях, что свидетельствует об их значительной роли в увеличении степени тяжести последствий событий. Среди них повышенные износы непроницаемых конструкций, приводящие к водотечности и близкие к ней по сути опасности: невыполнение условий МК-66, особенно по люковым закрытиям (т.е. потенциальная водотечность), перевозка металлолома (имеющая последствия в виде нарушения непроницаемости второго дна и второго борта) и перегруз судна. ССП работают в тяжелых условиях мелководья и частых шлюзований (до 30 в одном рейсе) летом и в ледовой обстановке зимой, что в силу накопления деформационных повреждений и истирания наружной обшивки, снижает несущую способность корпусов судов. ССП в связи с их пониженным стандартом прочности, имеют меньшие запасы прочности, чем аналогичные суда неограниченного района плавания. Поэтому все факторы, приводящие к росту усилий на тихой воде и на волнении, по сравнению с проектными, отражаются на тяжести последствий воздействия на корпус ССП этих опасностей.

За прошедшие годы корпуса существующего флота ССП во многом выработали свой износный и усталостный ресурс.

Это вывод характерен и в целом для судов воднотранспортной отрасли. Всего по состоянию на октябрь 2016 года, согласно данным РРР, в отрасли имеются 12173 таких судов (включая суда смешанного плавания) – см. таблицу 10. По сравнению с данными на 2010 год (15072 судов), выбытие составило 2899 единиц флота или 19,2 %.

Возрастная структура флота судов внутреннего и смешанного река-море плавания характеризуется следующими параметрами (см. таблицу 11):

- средний возраст самоходных сухогрузных судов – 41,2 года;
- средний возраст несамоходных сухогрузных судов – 35,1 год;
- средний возраст самоходных наливных судов – 40,9 лет;
- средний возраст несамоходных наливных судов – 33,4 года;
- средний возраст пассажирских судов – 35,2 года;
- средний возраст буксирного флота, необходимого для обслуживания несамоходных сухогрузных и наливных судов – 37,6 лет.

Возрастная структура судов смешанного плавания по данным РРР представлена в таблице 8 для европейской части страны, в таблице 9 – для восточной.

*Возраст транспортных судов по данным РРР  
по состоянию на октябрь 2016 г.*

Вид флота	Возрастные группы судов					Итого судов
	менее 10 лет	10-20 лет	21-30 лет	31-40 лет	свыше 40 лет	
<b>Распределение судов по возрастным группам</b>						
Самоходные сухогрузные, ед.	15	3	124	248	467	857
Несамоходные сухогрузные, ед.	94	70	1041	1802	1183	4190
Самоходные наливные, ед.	18	3	65	195	371	652
Несамоходные наливные, ед.	17	50	210	241	174	692
Пассажирские, ед.	192	89	189	364	502	1336
Буксиры, ед.	39	9	471	1192	1019	2730
Маломерные, ед.	61	49	380	439	787	1716
Всего, ед.	436	273	2480	4481	4503	12173
<b>Возрастная структура флота</b>						
Самоходные сухогрузные, %	1,75	0,35	14,47	28,94	54,49	100
Несамоходные сухогрузные, %	2,24	1,67	24,84	43,01	28,23	100
Самоходные наливные, %	2,76	0,46	9,97	29,91	56,9	100
Несамоходные наливные, %	2,46	7,23	30,35	34,83	25,14	100
Пассажирские, %	14,37	6,66	14,15	27,25	37,57	100
Буксиры, %	1,43	0,33	17,25	43,65	37,33	100
Маломерные, %	3,55	2,86	22,14	25,58	45,86	100
Всего, %	3,58	2,24	20,37	36,81	36,99	100

Источник: Российский Речной Регистр

Количество, средний возраст и общее техническое состояние судов под наблюдением РРР приведены в таблице 12. Аналогичные данные по наиболее распространенным проектам транспортным судам внутреннего и смешанного плавания даны в таблице 6.

Из всех 10458 транспортных судов (без учета маломерных) 1643 имеют оценку технического состояния «негодное» и 312 – «годное с ограничениями».

Еще в начале XXI века казалось, что суда советских типов «бессмертны». Но начавшийся мировой кризис в 2008 году и его последующие волны показали, что утилизация «старых» серий не только идет, но и идет с нарастающими темпами. Пик ее пришелся на 2008-2015 годы и этот процесс продолжается сейчас.



Таблиця 12

Технічне состояние транспортних судов внутрішнього і змішаного плавання по класам РРР  
(по состоянию на октябрь 2016 года)

Тип и название судна	Основные данные						Техническое состояние*		
	кол-во	средний возраст	мощность, кВт	грузоподъем- ность, т	пассажиро- местимость, чел.	годное	негодное	годное с ограничениями	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Всего транспортных**	10458	36,50	2873860,25	9680149,75	149549	8503	1643	312	
из них самоходных:	5576	37,96	2871854,55	2561392,25	145507	4551	810	215	
М-СП:	230	36,48	227782,6	261912,65	2891	206	20	4	
Сухогрузных	59	42,01	52720	130158,38	13	54	2	3	
Наливных	51	34,00	65547	130315,54	0	47	4	0	
Пассажирских	18	32,92	15009	486,2	2878	13	5	0	
Букиров и толкачей	102	35,14	94506,6	952,53	0	92	8	2	
М-ПР:	421	37,33	411246,22	819626,05	12511	369	49	3	
Сухогрузных	97	34,53	102093,62	248161,47	0	81	16	0	
Наливных	171	39,41	204136	570583,89	0	157	11	3	
Пассажирских	70	37,52	32442,8	872,06	12511	62	8	0	
Букиров и толкачей	83	36,14	72573,8	8,63	0	69	14	0	
О-ПР:	194	42,1	211208,6	550491,46	807	169	25	0	
Сухогрузных	95	44,32	107290,6	381090,2	0	78	17	0	
Наливных	50	42,28	55624	169399,76	0	49	1	0	

Продолжение табл. 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пассажирских	4	39,39	4759	1,5	807	2	2	0
Букиров и толкачей	45	37,46	43535	0	0	40	5	0
М:	260	37,05	284314,84	201878,26	19541	216	42	2
Сухогрузных	68	41,00	52478,04	147784,62	12	64	4	0
Наливных	21	38,55	17857,8	51398,84	0	13	8	0
Пассажирских	96	36,59	151004,8	2665,8	19491	75	20	1
Букиров и толкачей	75	33,65	62974,2	29	38	0	1	0
О:	1905	40,55	944340,87	550960,7	35080	1505	305	95
Сухогрузных	326	44,18	147841	339341,93	0	227	85	14
Наливных	235	43,21	99306,4	206255,48	0	158	22	55
Пассажирских	308	41,67	210472,57	1673,84	33996	226	59	23
Букиров и толкачей	1036	38,48	486720,9	3689,45	1084	894	139	3
Р:	2493	36,00	780427,63	176076,61	71891	2037	346	110
Сухогрузных	202	37,81	90798,3	115989,62	41	137	35	30
Наливных	124	41,21	40678,8	55942,43	0	98	14	12

Продолжение табл.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пассажирских	783	32,25	197111,4	3512,6	71686	687	94	2
Букиров и толкачей	1384	37,38	451849,13	631,96	164	1115	203	66
Л:	73	38,17	12533,79	446,52	2786	49	23	1
Сухогрузных	11	41,32	920,6	332	0	5	6	0
Наливных	0	0	0	0	0	0	0	0
Пассажирских	57	35,41	10953,19	114,52	2786	41	15	1
Букиров и толкачей	5	62,71	660	0	0	3	2	0
Маломерные	1697	39,79	224378,55	1515,82	954	1326	359	12
из них несамоходных:	4882	34,84	2005,7	7118757,5	4042	3952	833	97
М-СП:	175	29,93	0	273040,48	0	159	16	0
Сухогрузных	150	30,75	0	222059,75	0	137	13	0
Наливных	25	24,99	0	50980,73	0	22	3	0
М-ПР:	112	27,11	0	293004,1	0	96	8	8
Сухогрузных	81	28,96	0	184988	0	67	6	8
Наливных	31	22,28	0	108016,1	0	29	2	0

Продолжение табл. 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
О-ПР:	28	32,35	0	19215,3	0	21	6	1
Сухогрузных	16	30,68	0	60800,8	0	10	5	1
Наливных	12	34,58	0	41585,5	0	11	1	0
М:	79	35,62	0	167326,7	0	74	4	1
Сухогрузных	70	35,32	0	154905,7	0	67	3	0
Наливных	9	37,95	0	12421	0	7	1	1
О:	1291	33,08	0	3371344,03	641	1086	135	70
Сухогрузных	1013	33,3	0	2573159,32	641	860	86	67
Наливных	278	32,26	0	798184,710	0	226	49	3
Р:	3167	36,09	1094	2949801,39	3120	2493	657	17
Сухогрузных	2835	36,16	962	2760050,09	3098	2248	571	16
Наливных	332	35,45	132	189751,3	22	245	86	1
Л:	30	37,02	0	3440	281	23	7	0
Сухогрузных	25	32,18	0	2590	281	19	6	0
Наливных	5	61,19	0	850	0	4	1	0
Маломерных	19	26,61	54,4	800,49	12	11	8	0

\* Техническое состояние на момент последнего освидетельствования

\*\* Без учета маломерных судов

Источник: Российский Речной Регистр

К настоящему времени из 75 знаменитых «Балтийских» проекта 781 (по сути, первая серия советских ССП, строились в 1962-1968 годах) списаны 68 (9% – 7 судов потеряны в катастрофах, утилизировано в XXI веке 49% – 37 судов, до 2000 года – 24 судна). В эксплуатации 8 судов средним возрастом 51,2 года, из них 5 с флагом России.

Из 40 не менее знаменитых «Волго-Балтов» советской постройки проекта 791 (строились в 1962-1969 годах) списаны 34 (13 % – 5 судов потеряны в катастрофах, утилизировано в XXI веке 33 % – 13 судов, до 2000 года – 16 судов). В эксплуатации 4 судна средним возрастом 51 год, причем только 1 с флагом России.

Из 73 «Волго-Балтов» проекта 2-95 первых серий постройки ЧССР (строились в 1967-1974 годах) списаны 44 (10 % – 7 судов потеряны в катастрофах, утилизировано в XXI веке 51 % – 37 судов, до 2000 года – 1 судно). В эксплуатации 27 судов со средним возрастом 46,4 года, причем только 9 с флагом России.

**Таким образом, фактический возраст списания судов смешанного плавания – около 45-50 лет. При этом около 10 % судов к этому возрасту теряют в катастрофах.**

**Средний возраст существующих судов около 40 лет.**

**Поэтому через 5-10 лет вполне объективно будут списаны более 50 % эксплуатируемого в настоящее время флота, что приведет к обвалу объемов перевозок на водном транспорте.**

Основными критериями грядущего массового списания судов внутреннего и смешанного река-море плавания в РФ являются:

- крайний физический износ – суда эксплуатируются по 40 лет и более (сухогрузы типа «Шестая пятилетка», «Окский», «Калининград», «Волго-Дон», танкеры типа «Волго-Нефть», «ГЭС» и др.);

- моральное старение, например, главной экологической проблемой судов типа «Волгонепфть» являются наличие высоты второго дна, не удовлетворяющей требованиям МК МАРПОЛ, избыточные длины грузовых танков и отсутствие отстойных танков – эти суда не должны работать в море на перевозках тяжелой нефти и нефтепродуктов, т.е. грузов с плотностью 0,900 т/куб. м и более уже с 2008 года;

- большие капиталовложения в поддержание должного технического состояния судов для прохождения классификационного освидетельствования Регистром (документы действуют в течение 5 лет при условии ежегодного подтверждения).

В результате затраты на ремонт и подтверждение классификационных документов не окупаются в течение 4-5 лет на тех направлениях и грузах, где работает судно, т.е. ремонт и подтверждение класса экономически нецелесообразно;

- в случае, когда дальнейшая эксплуатация судна угрожает безопасности судоходства и связана с высокими рисками аварии;

- в случае, когда рост эксплуатационных затрат, связанных с поддержанием судов в рабочем состоянии (топливо, масло, запчасти, материалы, страхование и др.), делает его дальнейшую эксплуатацию нерентабельной.

Помимо объективного старения флота, необходимо учесть и влияние новых международных требований. Они вообще изменяют состав флота в ближайшие годы.

Например, 8 сентября 2017 года (как всегда неожиданно для отечественных судовладельцев) вступает в силу Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими 2004 года (Конвенция BWM 2004). Она окажет заметное влияние на суда, совершающие международные рейсы. Существующим судам дан переходный период – они должны быть дооборудованы системой обработки балластных вод (СОБВ) к первому после 8 сентября 2017 года очередному освидетельствованию.

Таким образом, существующие суда смогут проработать без СОБВ не более ПЯТИ лет после 8 сентября 2017 года, т.е. до сентября 2022 года. Для судов «советской» постройки затраты по приведению к требованиям BWM-2004 составляют 500-800 тыс. долларов и выше.

Это означает, что в течении пяти лет значительная часть судов смешанного река-море плавания будет либо списана, либо вернется на реку или будет работать исключительно в малом каботаже без выхода за территориальные воды или только в Каспийском море (причем этот вариант решения еще не окончательный).

**Выводы.** Предстоящее списание флота воднотранспортной отрасли нанесет существенный, практически невозполнимый ущерб, в первую очередь, внутренним речным перевозкам и смешанным перевозкам.

Выявлена принципиально важная тенденция – старые суда смешанного река-море плавания утилизируются уже вне юрисдикции России и Украины, т.е. в силу ужесточения требований «приличных» классов к ним, эксплуатировать с «нормальным» флагом не выгодно, поэтому их продают иностранным судовладельцам (как правило, турецким) со сменой флага и класса на менее требова-

тельный, при этом работать эти суда продолжают на той же грузовой базе, что и раньше (т.е. с южных портов).

Фактически их новые владельцы «добывают» в течение некоторого времени и потом сдают на металлолом. Уже имея иные флаги и классы, такие суда попадают в различные происшествия, включая катастрофы, собственно, потери по авариям во многом связаны именно с подобным «серым» способом эксплуатации. Обычный анализ не дает увидеть подобное завершение «карьеры» судов смешанного плавания.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Официальный интернет-портал федерального агентства морского и речного транспорта. Статья «Итоги транспортной деятельности на внутренних водных путях Российской Федерации в навигацию 2016 года». URL: <http://www.torflot.ru/lenta/n2811.html> (дата обращения 17.01.2017).*
2. *Официальный сайт компании ООО «В.Ф. Танкер». Статья «В.Ф. Танкер» подвел итоги работы в навигационный период 2016 года». URL: <http://www.vftanker.ru/news/2016/12/12/1211/> (дата обращения 17.01.2017).*
3. *Официальный сайт судоходной компании «Волжское пароходство». Статья «Компания «Волжское пароходство» завершила навигацию 2016 года». URL: <http://www.volgaflot.com/o-kompanii/novosti/--kompaniya--volzhskoe-parokhodstvo--zavershila-na/> (дата обращения 16.01.2017).*
4. *Официальный сайт судоходной компании «Северо-Западное пароходство». Статья «Перевозки зерна Северо-Западного пароходства выросли на 35 % до 1,12 млн. тонн». URL: <http://www.nwship.com/ru/press-centre/news-nwsc/2016/2450> (дата обращения 18.01.2017).*
5. *История северорусского судостроения / Г.Е. Дубровин, А.В. Огороков, В.Ф. Старков, П.Ю. Черношвитов. – СПб.: Алтейя, 2001; – М.: Институт Археологии Российской Академии наук, 2001; Российский Институт культурологии Российской Академии наук, 2001. – 404 с.*
6. *Грузовые суда смешанного плавания / В.А. Евстифеев, П.Г. Варенов, В.В. Иконников, М.Г. Шмаков. – Л.: Судостроение, 1971. – 248 с.*
7. *Богданов Б.В. Морские и рейдовые баржи. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 296 с.*

8. *Технико-эксплуатационные качества судов смешанного плавания / В.Н. Анфимов, В.И. Асиновский, Ю.Л. Беляк, А.Ф. Видецкий и др. / Под ред. А.Ф. Видецкого. – М.: Транспорт, 1974. – 272 с.*
9. *Зернов С. Транспортная недоступность Республики Саха (Якутия): мифы и реальность. – Речной транспорт (XXI век). – № 5. – 2007. – С. 46-53.*
10. *Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.*

*Стаття надійшла до редакції 25.05.2017*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Одеського національного морського університету  
**А.В. Гришин**

доктор технічних наук, професор, головний науковий співпрацівник Морського Інженерного Бюро, науковий консультант  
**В.В. Козляков**



УДК 629.5.01:656.6

Г.В. Егоров, И.А. Ильницкий, В.И. Тонюк, Н.В. Автутов

### ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ СУДОВ НОВЫХ КОНЦЕПТОВ

*В статье представлены результаты работы многофункциональных спасательных судов (МАСС) нового поколения, разработанных Морским Инженерным Бюро. Особое внимание уделено построенной в 2012-2015 годах серии уникальных мелкосидящих МСС с арктическим ледовым классом мощностью 4 МВт для Балтийского и Черноморско-Азовского регионов и спасателям с ледокольными функциями мощностью 7 МВт для работы в условиях Северного Морского пути и Дальнего Востока. Отмечается, что наличие сложного сочетания функций приводит к взаимно противоречивым тенденциям в выборе обводов, главных размерений и других характеристик МСС.*

**Ключевые слова:** проектирование, многофункциональное спасательное судно, спасение, экология, ледокол, опыт эксплуатации.

*У статті представлено результати роботи багатофункціональних рятувальних суден (БРС) нового покоління, розроблених Морським Інженерним Бюро. Особлива увага приділена побудованій в 2012-2015 роках серії унікальних мілкосидячих БРС із арктичним льодовим класом потужністю 4 МВт для Балтійського й Чорноморсько-Азовського регіонів і рятувальним суднам із криголамними функціями потужністю 7 МВт для роботи в умовах Північного Морського шляху й Далекого Сходу. Відзначається, що наявність складної комбінації функцій призводить до взаємно суперечливих тенденцій у виборі обводів, головних розмірень і інших характеристик БРС.*

**Ключові слова:** проектування, багатофункціональне рятувальне судно, порятунк, екологія, криголам, досвід експлуатації.

*In paper results of operation of new generation multifunctional salvage vessels (MPSV) designed by Marine Engineering Bureau are presented. The special attention is given to the series of unique shallow-draught MPSVs with Arctic ice class with power of 4 MW for Baltic and Azov-Black Seas regions which were built in 2012-2015 and salvage vessels with icebreaker functions with power of 7 MW for operating in conditions of Northern Sea Route and Far East. It is marked that occurrence of complex function combinations leads to mutual conflicting tendencies when hull forms, principal particulars and other prosperities of MPSV are choosing.*

**Keywords:** design, multipurpose salvage vessel, rescue, ecology, ice breaker, operation experience.

**Постановка проблемы.** Средний срок службы судов-спасателей флота Морспасслужбы превышает 26 лет.

Дальнейшая эксплуатация судов с таким сроком службы сопряжена со значительными затратами на текущее содержание, техническое обслуживание и ремонт, с увеличением риска аварийных происшествий и заметным моральным старением оборудования и самих концептов судов. В подобной ситуации единственным выходом является строительство новых судов для обеспечения аварийно-спасательной готовности (АСГ) [2; 11].

Проектированию судов для АСГ были посвящены работы [4; 5; 9]. Эксплуатации спасательных судов и буксиров - публикации [15; 1; 8; 10]. Однако все они отражают решения, которые были актуальны в 60-80-х годах прошлого столетия и заметно устарели (вместе с теми судам, о проектировании которых в них шла речь).

Например, общей тенденцией является строительство многофункциональных спасательных судов (МАСС), что совершенно не было освещено в этих публикациях, в том числе более поздних [12; 14; 3].

С 2008 года было развернуто проектирование и строительство таких целой «линейки» МАСС современных концептов (MPSV06, MPSV07, MPSV09, MPSV12) мощностью от 2 до 7 МВт для различных районов и условий работы, а также несколько меньших по размерам морских водолазных судов (МВС) пр. SDS08, а также ряда других проектов (суда обеспечения пр. DCV61). Проектирование этих концептов осуществляло Морское Инженерное Бюро.

Об особенностях новых концептов уже было отмечено в работах Бюро [13; 6; 7], однако не меньший интерес представляет и следующий этап исследований, а именно рассмотрение применения этих судов, которые успели построить с 2010 года.

**Целью настоящей публикации** является анализ опыт эксплуатации новых концептов для обеспечения АСГ, с целью применения при проектировании следующих судов.

**Изложение основного материала.** За период с 2010 года вошло в строй более двадцати аварийно-спасательных судов проектов Морского Инженерного Бюро MPSV06, MPSV07, SDS08, а также проектов Бюро Агат-Дизайн А160, А40 (заводы-строители: «Нижегородский Теплоход», Невский судостроительно-судоремонтный завод, Ярославский завод, Судоверфь братьев Нобель в Рыбинске). Находятся в постройке еще четыре МАСС проекта MPSV12, судно проекта MPSV06, предполагается к строительству по одному МАСС проекта MPSV07, SDS08, а также ряд других судов.

Построенные суда активно используются.

В августе 2011 года МВС проекта SDS08 «Ростов Великий» участвовал в комплексных учениях сил и средств единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций «Арктика-2011» в акватории губы Буор-Хая моря Лаптевых, порт Тикси.

Согласно сообщениям Государственного морского спасательно-координационного центра в ходе учений отрабатывались следующие учебные задачи: «Ликвидация аварийного разлива нефти регионального значения», «Поиск и спасание людей терпящих бедствие на море» и «Тушение пожара на аварийном судне». Учебные цели были достигнуты. «Ростов Великий» был самым новым судном из состава комплексной группировки флота, принявшей участие в учениях «Арктика-2011», при этом использовались его возможности не только и не сколько как водолазного судна, сколько как малого судна обеспечения (ЛАРН и пожаротушение).

**В период с 13 октября по 25 октября 2011 года** МВС проекта SDS08 «Стольный град Ярославль» принимал участие в спасательной операции танкера «Григорий Бугров».

Краткая справка: в **14.32 13 октября** танкер, имея на борту груз – 6138 тонн мазута и запасы – 44 тонны дизельного топлива, 1,5 тонны масла, 5 тонн льяльных вод и 30 тонн пресной воды, столкнулся с неизвестным подводным объектом. После столкновения в течение короткого времени было затоплено машинного отделение, судно потеряло ход, обессточилось, получило крен около 30 градусов на ЛБ и дифферент 4,5 м на корму. В результате танкер сел кормой на грунт. Танкер получил пять последовательных пробоин днища с ЛБ на длине около 96 м (72 % от габаритной длины судна – от форпика до МО) и принял около 3000 тонн забортной воды (28 % от водоизмещения по ЛГВЛ). Учитывая, что на борту было еще и 6138 тонн груза и около 80 тонн запасов, следует признать, что состояние судно было крайне опасным и сама операция с таким объектом крайне тяжелой (как говорится, «на грани возможного»). «Стольный град Ярославль» обеспечивал работу водолазов, поставил боновое ограждение и был, как самое новое судно из принимавших участие в операции, с современными средствами коммуникации и связи, местом размещения штаба. Результат аварийно-спасательной операции: экипаж танкера не пострадал, разлива груза не допустили, судно «Григорий Бугров» спасено.

**В апреле-мае 2012 года** МВС «Ростов Великий» спасал сухогруз «Тихон Семушкин», выполняя работы по откачке воды из машинного отделения, водолазные работы и обеспечение буксировки.

Краткая справка: судно «Тихон Семушкин» из-за спора хозяйствующих субъектов около трех лет стояло брошенным у пирса в поселке Авача. В апреле 2012 года вандалы выкрутили клапаны, выполненные из цветного металла, из системы охлаждения главного двигателя, в машинное отделение хлынула вода. Судно опустилось кормой на грунт, возникла опасность опрокидывания сухогруза и разлива топлива. Водолазам удалось герметизировать судно, затем сухогруз был отбуксирован к причалу Сахалинского бассейнового аварийно-спасательного управления (в Петропавловске-Камчатском). С помощью оборудования МВС откатали около 100 кубометров нефтесодержащих вод из цистерн аварийного суд-

на и устранили опасность опрокидывания судна. Машинное отделение и другие загрязненные мазутом помещения обработали сорбентом.

**В июне 2013 года** МАСС проекта MPSV07 «Спасатель Карев» с оборудованием для ликвидации разливов нефти/нефтепродуктов (бортовые нефтесборные тралы, боновые заграждения, скиммеры) принял участие в международных учениях по ликвидации разлива нефти «BALEX DELTA 2013». Учения проводились на подходах к порту Варнемюнде (Германия). По сценарию в результате аварии траулера «Seewolf» и танкера «Spieketoog» произошел разлив 2500 куб. метров мазута марки IFO-180 на акваторию моря. Для ликвидации последствий разлива было задействовано около 25 судов, силы и средства девяти прибалтийских государств, включая Российскую Федерацию, представленную «Спасателем Каревым». Новое судно вызвало живой интерес у участников и наблюдателей.

**25 июля 2013 года** МВС «Ростов Великий» принял участие в учениях по поиску и спасанию людей в море и помощи аварийному судну в Авачинской губе под руководством МСПЦ Петропавловск-Камчатский ФГУ «Администрации морского порта».

**26 июля 2013 года** МАСС «Спасатель Карев» принял участие в бассейновых учениях в Финском заливе в районе о. Сескар. Это учение по поиску и спасанию людей, терпящих бедствие на море, было организовано и проведено Морским спасательно-координационным центром (МСКЦ) Санкт-Петербург АМП «Большой порт Санкт-Петербург» совместно с ФБУ «Балтийское бассейновое аварийно-спасательное управление» (БалтБАСУ) системы Госморспасслужбы России (Росморречфлот).

По сценарию учения НИС «Экобалт» столкнулось с неизвестным подводным препятствием в районе о. Сескар, возникла угроза затопления, экипаж покинул судно на спасательных плотках. МСКЦ СПб принял сигнал бедствия от НИС «Экобалт», произвел оповещение судов в районе бедствия, в район аварийного судна направлены спасательные суда, несущие постоянную аварийно-спасательную готовность в регионе и суда, находящиеся в районе бедствия. Учебная обстановка была максимально приближена к реальной – в спасательные плоты высажены профессиональные спасатели Поисково-спасательной службы Санкт-Петербурга. Штаб руководства операцией, развернутый в Едином ситуационном центре АМП «Большой порт Санкт-Петербург», принял решение об эвакуации спасенных членов экипажа аварийного судна в порт Усть-Луга. Служба капитана порта Усть-Луга провела подготовительные мероприятия к приему эвакуированных. В результате проведения поисково-спасательной операции обнаружены и подняты из воды и с плотов все члены экипажа НИС «Экобалт», им была оказана необходимая первичная помощь.

**В период с 17 по 24 января 2014 года** МАСС «Спасатель Карев» успешно осуществил в интересах ОАО «Рособоронэкспорт» буксировку построенной на Адмиралтейских верфях для Вьетнама дизель-электри-

ческой подводной лодки «Хошимин» из порта Санкт-Петербург в порт Калининград. Буксировка проводилась в сложных зимних условиях, во льду. Судно отработало в штатном режиме. Экипаж показал хорошие практические навыки по управлению спасательным судном новейшего поколения. Заказчик письменно выразил благодарность экипажу за высокий профессионализм и слаженную работу.

**15 мая 2014 года** МАСС «Спасатель Кавдейкин» (второе в серии) принял участие в учении по локализации и ликвидации разлива нефтепродуктов на акватории Кольского залива в районе поселка Мишуково. Учение проводилось в соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федерации и Правительством Королевства Норвегии о сотрудничестве в борьбе с загрязнением нефтью в Баренцевом море.

**4 июня 2014 года** «Спасатель Кавдейкин» участвовал в международном учении по поиску и спасению людей «Баренц 2014», которое проводилось в Баренцевом море в районе Варангер фьорд (Норвегия).

По сценарию учения столкнулись два судна, одно из них танкер с грузом около 2000 тонн нефтепродуктов. Танкер получил пробоину, а на втором судне начался пожар. Экипажи судов по 20 человек. На танкере возникла угроза затопления, и экипаж покинул судно. Второе судно нуждалось в помощи по тушению пожара и спасению людей находившихся в задымленных помещениях. JRCC Северной Норвегии принял сигнал бедствия, произвел оповещение судов в районе бедствия и запросил помощи у МСКЦ Мурманск. В район аварии МСКЦ Мурманск направил спасательные суда, несущие постоянную аварийно-спасательную готовность и суда, находящиеся в районе бедствия. Учебная обстановка была максимально приближена к реальной.

На судно, нуждающиеся в помощи по тушению пожара, высажена аварийная партия, эвакуированы члены экипажа, спасены люди находящиеся в задымленных помещениях, пожар локализован пожарными средствами МАСС «Спасатель Кавдейкин» Остальные суда и корабли приняли участие, в поиске экипажа танкера покинувшего судно. Все маневры найдены с учетом того, что видимость в районе учений была не более 150-300 метров.

В ликвидации разлива нефтепродуктов приняли участие специализированные суда России и Северной Норвегии. Гидрометцентром Мурманской области применена программа по прогнозированию движения нефтяного пятна с учетом гидрометеоусловий в районе.

**17-18 июля 2014 года** головное МАСС проекта MPSV07 «Спасатель Карев» приняло участие в учениях по локализации и ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов при строительстве разведочной скважины № 3-СД Долгинского нефтяного месторождения на шельфе Печорского моря с использованием СПБУ «GSP Saturn».

**24 июля 2014 года** третье МАСС проекта MPSV07 «Спасатель Заборщиков» применялось по назначению в комплексных учениях «Ликвидация последствий аварии танкера и разлива нефти федерального зна-

чения ЗАО «ИН-ТРАНЗИТ» при проведении операций с нефтепродуктами на временных рейдовых причалах П-1, П-4, П-5 якорной стоянки № 5-А морского порта «Большой порт Санкт-Петербург».

**6 августа 2014 года** МАСС «Спасатель Карев» участвовал в поисково-спасательном учении «Арктика-2014» в районе морской ледостойкой стационарной платформы «Приразломная». Учение «Арктика-2014» проводилось в рамках мероприятий Международной встречи представителей государств – членов Арктического Совета. В учении приняли участие органы управления силы и средства Минтранса России, МЧС России, Минобороны России, Пограничной службы ФСБ России, Росморречфлота, Росавиации, Ненецкого автономного округа, ФБУ «Госморспасслужба России», ОАО «Совкомфлот», ОАО «Газпром», ОАО «ЛУКОЙЛ», группы компаний «Транзас» и др. В учении было задействовано самолётов и вертолётотв – 4 ед. кораблей и судов – 11 ед. и около 500 человек личного состава.

Учение было проведено в четырех эпизодах, в течение одного дня.

Эпизод № 1 – «Поиск и спасание людей, терпящих бедствие на море».

Эпизод № 2 – «Оказание помощи аварийному судну». Участники эпизода: МАСС «Спасатель Карев», танкер «Михаил Ульянов».

Эпизод № 3 – «Ликвидация разлива нефти на море в результате аварии танкера» (категория ЧС федерального значения). Участники эпизода: МАСС «Спасатель Карев», суда обеспечения «Юрий Топчев», «Владислав Стрижов», «Тобой» и «Юшар».

Эпизод № 4 – «Защита и очистка прибрежной полосы от нефтяного загрязнения».

В ходе учения «Арктика-2014» было отработано взаимодействие комиссий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности и участников учения, проведена оценка достаточности средств и технических возможностей оборудования по ликвидации разливов нефти, а также эффективности спланированных действий сил и средств по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Международными наблюдателями был отмечен высокий уровень организации подготовки и проведения учения.

**В период с 24 июня по 8 августа 2014 года** МВС «Стольный град Ярославль» принимал участие в буксировочной операции элементов конструкции буровой платформы итальянской компании SAIPEM на месторождение им. В. Филановского на Каспийском море. Общая протяженность буксировки из порта Астрахань по Волго-Каспийскому каналу до месторождения составила порядка 180 километров. Учитывая уникальность буксировочной операции, она проводилась только в светлое время суток. Для безопасного прохождения каравана, на время буксировки останавливалось движение судов по Волго-Каспийскому каналу. До кон-

ца 2014 года планируется участие водолазного судна «Стольный град Ярославль» в четырех подобных буксировочных операциях.

**В августе-сентябре 2014 года** МАСС «Спасатель Заборщикова» успешно осуществил буксировку землесоса «Олег Стрельченя» по Северному морскому пути от линии мыс Каменный – мыс Трехбугорный в Обской губе до устья реки Яна Ленского бассейна. Условиями контракта так же предусматривалось встреча с атомным ледоколом «50 лет Победы» в районе острова Диксон и прохождения за ним через пролив Вилькицкого. Буксировка проходила в сложных погодных условиях – волновой зыби и штормового ветра. Судам неоднократно приходилось укрываться в бухтах, в ожидании улучшения погоды. Экипаж МАСС «Спасатель Заборщикова» под руководством капитана Александра Плотникова успешно справился с поставленной задачей – самоходный дизель-электрический землесос был передан Ленскому ГБУ.

**10 сентября 2014 года** он же завершил буксировку по Северному морскому пути землесоса проекта 1-517-03 «Витим». Буксировка 73-х метрового «Витима» была осуществлена от приемного буя внешнего бара устья реки Яна до приемного буя внешнего бара устья реки Лена.

**23 сентября 2014 года** МАСС «Спасатель Карев» второй раз за год участвовал в учениях по локализации и ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов при строительстве разведочной скважины № 3-СД Долгинского нефтяного месторождения на шельфе Печорского моря с использованием СПБУ «GSP Saturn».

В учении приняли участие силы и средства Балтийского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота», МАСС «Спасатель Карев», МСКЦ Мурманск, СПБУ «GSP Saturn», судно обеспечения «Stril Commander», ООО «Газпромнефть-Сахалин».

**С 29 сентября по 4 октября 2014 года** МВС «Углич» экспонировался на V Международной научно-практической конференции «Водолазное дело России». За это время новый спасатель посетили более 250 участников конференции.

**С 19 по 29 октября 2014 года** МВС «Стольный град Ярославль» приняло участие уже в четвертой по счету уникальной буксировочной операции по транспортировке центральной технологической платформы из п. Астрахань к месту установки на месторождении им. В. Филановского. Работа осуществлялась в рамках исполнения Контракта о водолазном обеспечении при транспортировке и установке объектов на месторождении, заключенному между ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» и итальянской компанией SAIPEM. Сложность этой заключительной буксировки характеризовалась ухудшением обстановки по осенним метеорологическим условиям плавания в Каспийском море с сильными сгонными ветрами северных направлений, уменьшением проходной осадки по ВКМСК судов каравана, усилением ветра и волнения моря, понижении температуры воздуха, а также уменьшением видимости и осадков вплоть до снега. Поэтому не удивительно, что время буксировки составило 10 суток при

общей протяженности маршрута из порта Астрахань до месторождения порядка 240 километров.

Флагман водолазного флота Каспийского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» МВС «Стольный град Ярославль» принимал участие во всех четырех буксировочных операциях элементов конструкции буровой платформы обеспечивая безопасность движения во главе буксирного каравана. Экипаж МВС успешно справился с поставленными задачами.

**С 1 июля по 11 октября 2014 года** МАСС «Спасатель Карев» обеспечивал аварийно-спасательную и ЛРН готовность в Карском море в районе буровых платформ. Дежурство осуществлялось по договору с ООО «Карморнефтегаз». МАСС участвовал в ежемесячных учениях по ликвидации разливов нефти с силами ООО «Карморнефтегаз» и «ЕХХОНМОБИЛ»; осуществлял охрану ПШБУ «West Alpha»; выполнял ледовую разведку и мониторинг ледовой обстановки в районе буровых работ; обеспечивал безопасность при пересадке обслуживающего персонала с обеспечивающих судов на ПШБУ «West Alpha»; сопровождал ПШБУ «West Alpha» до Карских ворот.

**С 12 по 27 октября 2014 года** МАСС «Спасатель Карев» и МВС «Рыбинск» обеспечивали аварийно-спасательную и ЛРН готовность в Баренцевом море на месторождении Песчаноозерское о. Колгуев. Дежурство осуществлялось по договору с ЗАО «Арктикнефть». За время несения дежурства были выполнены:

- подъем, присоединение, монтаж, демонтаж плавучих шлангов нефтепровода (дюкера), плавучего буя;
- удержание танкера «СРО FINLAND» на буксире при погрузке сырой нефтью с дюкера в сложных погодных метеоусловиях;
- спасательные работы по подъему оборванных плавучих шлангов нефтепровода на борт судна;
- водолазные работы по поиску места обрыва дюкера.

**В ночь с 7 на 8 ноября 2014 года** МАСС «Спасатель Карев» в условиях восьмибалльного шторма по указанию руководителя буксировки принял на борт часть экипажа буровой платформы «GSP Saturn» в количестве 21 человек.

Затем уже в штатном режиме в составе каравана назначением порт Мурманск, следовавшего из Печорского моря, МАСС обеспечивал безопасность буровой платформы «GSP Saturn».

За умелые и грамотные действия капитана и экипажа, от руководства компании ООО «Газпромнефть-Сахалин» выражена благодарность экипажу МАСС «Спасатель Карев».

Начиная с **20 ноября 2014 года** МВС «Стольный град Ярославль» обеспечивал АСГ в работах по выводу новой самоподъемной плавучей буровой установки (СПБУ) «Меркурий» проекта Super 116E из п. Астрахань в Каспийское море. Высота платформы около 150 м, вес более 11 тысяч тонн, осадка 4,5 м. В усложняющихся условиях плавания в



осенне-зимний період буксировка будет проводиться только в светлое время суток с обязательной приостановкой движения других судов по Волго-Каспийскому морскому судоходному каналу и займет не менее 10 дней. Общая протяженность маршрута 200 километров.

На борту МВС находились подготовленные водолазы, принимавшие участие в различных спасательных операциях на море.

**28 апреля 2015 года** МАСС «Спасатель Заборщикова» принял участие в совместных учениях Восточного филиала ФГБУ «АМП Приморского края и Восточной Арктики», Приморского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота», Находкинского филиала ЗАО «Роснефтефлот», НАСФ ООО «Наяда» по ликвидации чрезвычайной ситуации, обусловленной разливом нефтепродуктов на акватории морского порта Восточный.

Учения проводились для:

- отработки организации действий сил и средств, органов управления при ликвидации разлива нефтепродуктов;

- проверки практическую работу ШРО при проведении операции по ликвидации разлива нефти;

- проверки уровня подготовленности персонала аварийно-спасательных формирований Приморского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота», Находкинского филиала ЗАО «Роснефтефлот», НАСФ ООО «Наяда» при ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, обусловленной разливом нефтепродуктов.

МАСС «Спасатель Кавдейкин» (из состава Северного филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота») принял участие в буксировке баржи-трубоукладчика «Дефендер», судовладелец АО «Межрегионтрубопроводстрой».

На первом этапе с 23 марта по 5 апреля 2015 года была осуществлена буксировка баржи-трубоукладчика «Дефендер» из порта Мурманск в порт Ставангер.

На втором – обратно. Буксировка успешно завершена 19 мая 2015 года.

**23 июня 2015 года** МАСС «Спасатель Карев» принял участие в совместных комплексных учениях ООО «НК «Приазовнефть», подразделений Азово-Черноморского и Балтийского филиалов ФБУ «Морспасслужбы Росморречфлота» по предупреждению и ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов (ЛРН) при строительстве поисково-оценочной скважины №1 «ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ» с использованием СПБУ «GSP URANUS».

Учения проводились на акватории северной части Темрюкско-Ахтарского лицензионного участка Азовского моря.

В учении от ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» приняли участие силы и средства: МАСС проекта MPSV07 «Спасатель Карев», дежурная группа аварийно-спасательного формирования по ликвидации

разливов нефти Балтийского филиала и группа «Берег» Азово-Черноморского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота».

Цели учения:

1. Отработка организации работы штаба руководства операцией по локализации и ликвидации разлива нефтепродуктов при возникновении чрезвычайной ситуации на СПБУ «GSP URANUS».

2. Проверка достаточности сил и средств для локализации и ликвидации разлива нефти и нефтепродуктов.

3. Отработка организации взаимодействия диспетчерских служб, функциональной и территориальной подсистем при возникновении чрезвычайной ситуации, обусловленной разливом нефти и нефтепродуктов, на акватории Азовского моря (на СПБУ «GSP URANUS»).

4. Проверка готовности сил и средств ЛРН филиалов ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» при действиях в чрезвычайной ситуации.

5. Проверка готовности сил и средств СПБУ «GSP URANUS» по борьбе с пожаром и ликвидации разлива нефти.

**12 июля 2015 года** МВС «Рыбинск» в Обской губе Карского моря успешно провело операцию по обнаружению и идентификации затонувшего объекта.

Операция по обнаружению и идентификации затонувшего объекта была инициирована ОАО «Совкомфлот» и ООО «СКФ Юником» после инцидента произошедшего с танкером «SCF Yenisei» 14 сентября 2014 года в Обской губе Карского моря. Провести операцию по обнаружению и идентификации неопознанного затонувшего объекта было предложено Федеральному агентству морского и речного транспорта. 12 июля 2015 года после двух дневного поиска затонувший объект был обнаружен и после проведенного водолазного обследования был идентифицирован. Установлены точные координаты и местоположение объекта представляющего серьёзную опасность для навигации. За оперативное и успешное проведение работ руководство ОАО «Совкомфлот» выразило свою благодарность.

**23 июля 2015 года** МАСС «Спасатель Заборщиков» принял участие в учениях на акватории Охотского моря в районе Кириного газоконденсатного месторождения по ликвидации аварийного разлива нефти (ЛРН), «произошедшего» при эксплуатации ППБУ «Северное Сияние».

Учения проводились ООО «Газпром флот» и ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» с целью:

1. Отработки организации взаимодействия диспетчерских служб, при возникновении чрезвычайной ситуации, обусловленной разливом нефти на акваторию моря с ППБУ «Северное Сияние».

2. Проверки готовности сил и средств ЛРН ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» при действиях в чрезвычайной ситуации.

3. Проверки готовности сил и средств ППБУ «Северное Сияние» к ликвидации разлива нефти.

Опыт применения нового поколения судов для АСГ показывает, что такие суда действительно должны быть многофункциональными, так как весьма сложно представить себе, что под каждую задачу можно будет сейчас построить отдельное судно – это и экономически не целесообразно, и вызывает большие сложности с возможностью осуществления самих задач – не факт, что объект с востребованными функциями будет «под рукой».

Поэтому современные МАСС должны быть хорошо приспособлены для выполнения следующих функций:

- патрулирование, аварийно-спасательное дежурство в районах интенсивного судоходства, рыбного промысла, морских нефтяных и газовых промыслов;

- поиск, спасение, эвакуация и размещение людей, оказание им медицинской помощи;

- снятие с мели и рифов аварийных судов, откачка воды из затопленных отсеков;

- буксировка аварийных судов и объектов к месту убежищ, а также выполнение морских буксировок судов, плавучих объектов и сооружений во льдах и на чистой воде, оказание помощи судам и выполнение спасательных работ в ледовых условиях и на чистой воде;

- оказание помощи в тушении пожаров на плавучих и береговых объектах, доступных для подхода с моря;

- тыловое и техническое обеспечение, в том числе выполнение подводно-технических работ водолазов на глубинах до 60 метров;

- тушение горящего на воде топлива, ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (ЛЯРН);

- освидетельствование и очистка подводной части корпуса судов, плавучих и береговых объектов.

**С 29 августа по 3 сентября 2015 года** МВС проекта SDS08 «Углич» приняло участие в операции по поиску и подъему пропавших дайверов в районе затопления линкора «Свободная Россия» на акватории морского порта Новороссийск.

Операция проводилась на глубине 40 метров. Пропавшие дайверы осуществляли погружения на затопленный в 1918 году линкор «Свободная Россия» (ранее «Екатерина Великая»).

**В летнюю навигацию 2015 года** МВС проекта SDS08 «Рыбинск» осуществляло дежурство на мысе Каменном. Официальным письмом от 12 октября 2015 года ООО «ОНЕГО ШИПИНГ» выразило благодарность аварийно-спасательному формированию (АСФ) Архангельского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» за качественную и отлично организованную работу.

**2 ноября 2015 года** МВС проекта SDS08 «Ростов Великий» приняло участие в совместных учениях Приморского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» и ООО «ПортБункерСервис» на акватории морского порта Владивосток. Тема учений: «Ликвидация последствий

чрезвычайной ситуации, обусловленной разливом нефтепродуктов на акватории порта Владивосток».

Учения прошли успешно, учебные цели достигнуты, поставленные задачи выполнены.

**23 ноября 2015 года** МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Заборщиков» и МВС проекта SDS08 «Ростов Великий» приняли участие в учениях по борьбе с разливом нефтепродуктов на акватории морского порта Владивосток.

Учения проводились Приморским филиалом ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота», ООО «НИКО», ООО «Дилмас» и ООО «ПримПорт-Бункер».

Учения прошли успешно, учебные цели достигнуты, поставленные задачи выполнены.

**4 декабря 2015 года** МВС проекта SDS08 «Стольный град Ярославль» в составе сил и средств аварийно-спасательного формирования Каспийского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» приняло участие в операции по спасению танкера-бункеровщика «Диалог», получившего подводные пробоины в результате столкновения с неизвестным объектом.

В ходе спасательной операции водолазы обнаружили и заделали пробоины в корпусе судна, спасатели провели откачку воды из всех отсеков тонущего бункеровщика. Принятыми мерами танкер был поставлен на плав.

В результате оперативных действий спасателей Каспийского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» предотвращено загрязнение акватории Волго-Каспийского морского судоходного канала, судно было спасено и к 12:25 4 декабря 2015 отбуксировано на завод и поднято на слип для проведения корпусных ремонтных работ.

**Ночью 3 января 2016 года** затонувший ранее в Астраханской области буксир «Рейдовый-23» был поднят и ошвартован к плавучему крану «Богатырь-3». Начата буксировка каравана к доку ООО «Галактика». Пострадавших и загрязнения нет. Участие в подъеме и постановке на плав буксира приняло МВС проекта SDS08 «Стольный град Ярославль» Каспийского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота».

При проведении работ по подъему затонувшего судна силы аварийно-спасательного формирования Каспийского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» справились с поставленными задачами в полном объеме. В результате оперативных действий спасателей удалось избежать обширных загрязнений акватории морского порта Астрахань нефтепродуктами.

**12-13 января 2016 года** МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Карев» оказало помощь и осуществило аварийную буксировку потерявшего ход судна «Yangtze River», находившегося в 24 милях от порта Новороссийск.

**27 января 2016 года** МВС проекта SDS08 «Углич» приняло участие в тушении пожара на сухогрузном судне «Нардиз», находившемся на 128,9 км Волго-Каспийского канала и следовавшим рейсом порт Астрахань-порт Энзели с генеральным грузом 2256 тонн.

**С 1 февраля 2016 года** в рамках ледовой кампании арктическое МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Кавдейкин» осуществляло ледовую проводку судов в морской порт Ванино и на подходах к нему.

**С 25 по 29 февраля 2016 года** МВС проекта SDS08 «Стольный град Ярославль» и аварийно-спасательное подразделение Каспийского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» предотвратили загрязнение акватории порта Астрахань.

25.02.2016 поступила информация о загрязнении нефтепродуктами акватории в районе с. Икрыное и в районе СРЗ им. «А.П. Гужвина».

Для ликвидации загрязнения были направлены силы и средства аварийно-спасательного формирования Каспийского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота»: МВС «Стольный град Ярославль», аварийно-спасательное подразделение с оборудованием для локализации и ликвидации разливов нефтепродуктов. В ходе операции по локализации и ликвидации разлива нефтепродуктов, проведенной с 25 по 29 февраля 2016 года было собрано около 4300 кг нефтепродуктов. Принятыми мерами не было допущено дальнейшее загрязнение акватории порта Астрахань.

**12 марта 2016 года** МВС проекта SDS08 «Стольный град Ярославль» и теплоход «ПТР-50 № 9» Каспийского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» приняли участие в борьбе за живучесть туркменского сухогрузного судна «Магтымгулы».

Сухогрузное судно «Magtymguly» (флаг Туркменистан, экипаж 18 человек), совершая рейс порт Оля – порт Ноушехр (Иран) с грузом 2823 тонны пшеницы, на 81 км Волго-Каспийского морского судоходного канала (ВКМСК) при развороте для постановки на якорь столкнулся с подводным препятствием, вследствие чего судно получило пробоину в румпельном отделении. По данным Государственного морского спасательно-координационного центра Минтранса России, была начата откачка воды из румпельного отделения судовыми средствами, однако производительности судовых насосов не хватило, судно продолжало крениться.

Оперативный дежурный Каспийского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» В 00:05 мск 12 марта 2016 г. получил от МСКЦ Астрахань информацию по аварии. На помощь были направлены аварийно-спасательное подразделение и водолазная станция, МВС проекта SDS08 «Стольный град Ярославль» и спасательный буксир «ПТР-50 № 9» с водоотливными средствами и оборудованием для ведения работ по локализации и ликвидации последствий аварийного разлива нефтепродуктов.

В ходе спасательной операции водолазы обнаружили пробоины в корпусе аварийного судна и провели работы по их заделке, спасатели откачали воду из румпельного отделения. После проведения аварийно-спасательных работ поступление забортной воды на аварийном судне «Магтымгулы» удалось ликвидировать и спрямить судно. В дальнейшем сухогруз был отбуксирован судном «Вышлов» в сопровождении МВС проекта SDS08 «Стольный град Ярославль» в порт Оля к месту проведения ремонтных работ.

Пострадавших, загрязнения окружающей среды, препятствий судоходству нет, судно спасено.

**30 марта 2016** года на акватории морского порта Владивосток проведены совместные комплексные учения Приморского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота», ООО «Франко Трейдинг», ООО «ЕМ Шиппинг», ООО «Владивостокская транспортная компания», ООО «ТРАНСНЕФТЬ» и ООО «МЭСОС» по ликвидации чрезвычайной ситуации, обусловленной разливом нефтепродуктов. В учениях приняли участие МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Заборщиков» и многофункциональное МВС проекта SDS08 «Ростов Великий».

Учения прошли успешно, учебные цели достигнуты, поставленные задачи выполнены.

**С 10 марта 2016** года арктическое МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Кавдейкин» ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» обеспечивало выполнение научно-исследовательских работ специалистами ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова» на акватории Южно-Кириного месторождения на шельфе Охотского моря.

При этом осуществлялись:

- высадка в дневное время на ледовые образования экспедиционного состава с оборудованием для осуществления комплекса измерений;
- разрушение исследуемых ледовых образований корпусом судна, запись параметров работы двигателей судна и других характеристик возникающих нагрузок на корпус;
- обеспечение экспедиционным составом видео фиксации, инструментальных замеров и визуальных наблюдений характеристик ледового покрова и метеорологических параметров во время движения судна.

**14 апреля 2016** года МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Демидов» осуществило подъем со дна Керченского пролива самолета-штурмовика ИЛ-2.

13 апреля 2016 года Азово-Черноморским филиалом ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» совместно с ООО «Фертоинг» была начата операция по подъему самолетов, сбитых в годы Великой Отечественной войны. Самолеты были обнаружены осенью 2015 года. Экипаж судна МАСС проекта MPSV07 «Спасатель Демидов2 по завершению водолазных работ, 14 апреля в 12:30 успешно выполнил завершающий этап по

подъему штурмовика ИЛ-2 с морского дна на палубу судна. Останки летчика в кабине самолета не обнаружены.

**В 2016 году** по сообщению пресс-службы компании «Газпром нефть шельф», МАСС мощностью 7 МВт проекта MPSV06 «Мурман» обеспечивало круглосуточное аварийно-спасательное дежурство в районе расположения платформы «Приразломная».

**1 июня 2016 года** МВС проекта SDS08 «Ростов Великий» приняло участие в учениях по ликвидации чрезвычайной ситуации, обусловленной разливом нефтепродуктов при аварии танкера и попадании нефтепродуктов на акваторию порта Находка.

В комплексных учениях Приморского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» и ООО «Газпромнефть Шиппинг», ООО «Наяд», ООО «Павино» и ООО «Находка-Портбункер» приняли участие МВС проекта SDS08 «Ростов Великий», морское спасательное судно «Светломор-3», катер - бонопостановщик «Lamog LC-7500» и аварийно-спасательное подразделение со специализированным оборудованием.

Учения прошли успешно. Учебные цели достигнуты, задачи выполнены.

**В июне 2016 года** на акватории внешнего рейда морского порта Архангельск в районе острова Мудьюг было проведено бассейновое учение по поиску и спасению людей, терпящих бедствие в море. От Архангельского филиала в учениях принимало участие судно МВС проекта SDS08 «Рыбинск», которое было координатором на месте действия. Учение прошло успешно, цели и задачи достигнуты и выполнены полностью.

**С 16 по 18 июня 2016 года** арктическое МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Кавдейкин» приняло участие в учениях на акватории Охотского моря в районе лицензионного участка «Лисянский».

В учениях приняли участие профессиональное аварийно-спасательное формирование Сахалинского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» (дежурное судно: МАСС проекта MPSV07 «Спасатель Кавдейкин»), силы и средства ООО «Лисянскморнефтегаз» (суда обеспечения: «Бурбон Эксплорер 516», «Sea Supra», «Sea Frost»), представители органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

**17 июня 2016 года** МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Демидов» Азово-Черноморского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» совместно с ООО «Фертоинг» осуществило подъем со дна Керченского пролива четвертого самолета-штурмовика ИЛ-2. Все четыре самолета были обнаружены осенью 2015 года.

В экспедиции Кронштадтского морского музея принимали участие военные историки, поисковики и журналисты. Найденные самолеты были сбиты в 1943 году в ходе Керченско-Эльтигенской десантной операции.

**2 августа 2016 года** в районе морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) «Приразломная» «Газпром нефть шельф» провела

плановые тактико-специальные учения (ТСУ) по локализации и ликвидации нефтяных разливов. В учениях приняло участие МАСС мощностью 7 МВт проекта MPSV06 «Мурман», а также сама МЛСП «Приразломная», транспортно-буксирное судно «Алеут», ледокольное судно «Юрий Топчев», катера-бонопостановщики, 3 вертолета МИ-8АМТ и другая техника и оборудование, предназначенные для защиты акватории и береговой линии.

В ходе учений были отработаны методы локализации и ликвидации условного нефтяного разлива на море в результате аварии танкера, а также проведены мероприятия по защите и очистке прибрежной полосы от предполагаемого нефтяного загрязнения в районе поселка Варандей и острова Долгий. По легенде учений ликвидация нефтяного разлива на острове длилась двое суток. Одной из важнейших задач стала доставка на остров Долгий контейнеров с оборудованием и модулей вагон-городка для работы штаба ликвидации чрезвычайной ситуации и организации проживания персонала спасательной группы. Доставка сил и средств производилась вертолетами МИ-8АМТ с системой внешней подвески.

По итогам учений комиссия, в состав которой вошли представители государственных органов по Ненецкому автономному округу, отметила готовность компании «Газпром нефть шельф» к выполнению действий, предусмотренных Планом по предупреждению и ликвидации разливов нефти в зоне ответственности платформы «Приразломная».

**С 20 по 21 августа 2016 года**, группой водолазов Каспийского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» с борта МВС проекта SDS08 «Стольный град Ярославль» было проведено обследование участка дна северной части Каспийского моря под установку самоподъемной буровой «Нептун» для строительства поисково-оценочной скважины «Хазри-1», с видео фиксацией результатов обследования. Работа была произведена по заявке ООО «Лукойл-Нижневожскнефть» на глубине 45 метров.

В результате обследования подтверждена безопасность установки буровой платформы на обследуемом участке, посторонних предметов не обнаружено.

**14 сентября 2016 года** МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Демидов» приняло участие в международных комплексных учениях по ликвидации последствий аварии танкера в море «RU DELTA 2016» на тему «Поиск и спасание людей, терпящих бедствие в море, оказание помощи аварийному судну и ликвидация разлива нефти в море и на прибрежной полосе». Учения были проведены на Чёрном море в районе морского порта Новороссийск.

**В ноябре 2016 года** Роснефть успешно завершила полевой этап комплексной экспедиции, организованной Арктическим Научным Центром (АНЦ) в Восточной Арктике. Работы осуществлялись с борта МАСС ледового плавания мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Карев».



В ходе экспедиции участниками были выполнены геохимические и инженерно-геофизические исследования на лицензионных участках недр Роснефти в акваториях моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей. Это 1-й этап региональных геолого-геофизических работ.

Основная цель этого этапа – подробная и качественная оценка перспектив нефтегазоносных областей, выявление зон нефтегазонакопления и открытие месторождения.

По результатам этого этапа создаются модели строения осадочного бассейна и его крупных частей, выявляются закономерности изменения геолого-геофизических и геохимических параметров осадочного чехла и фундамента.

Нынешние работы выполнялись в режиме интерактивного планирования с учетом мониторинга ледовой обстановки при поддержке геологической службы шельфовых проектов Роснефти, что позволило выполнить весь объем работ в намеченные сроки с наибольшей эффективностью.

Исследования выполнялись с помощью МАСС проекта MPSV07 «Спасатель Карев» в соответствии с требованиями природоохранного законодательства с соблюдением всех норм экологической и промышленной безопасности.

По итогам исследований получены необходимые геофизические данные, характеризующие выходы целевых геологических горизонтов на поверхность морского дна.

На основе собранных данных по геохимии донных отложений и придонных вод будет составлен прогноз областей выхода глубинных углеводородов, а также ранжированы объекты с целью выбора приоритетного направления геологоразведочных работ (ГРП).

Кроме того, будет определен уровень и характер распределения радиоактивных элементов, макро- и микроэлементов в стратифицированных разрезах донных отложений и геохимическая специализация осадка.

Результаты этой комплексной экспедиции АНЦ, ставшей уже 13-й по счету, позволяют повысить эффективность дальнейшей геологоразведки.

**9 ноября 2016 года** МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Заборщиков» вернулось в базовый порт Владивосток.

МАСС проекта MPSV07 «Спасатель Заборщиков» осуществляло аварийно-спасательное дежурство по предотвращению чрезвычайных ситуаций, связанных с возможным разливом нефти при разведочном бурении на Киринском газоконденсатном месторождении на континентальном шельфе Охотского моря непосредственно у полупогружной плавающей буровой установки «Северное сияние».

**23 ноября 2016 года** МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Заборщиков» принял участие в совместных комплексных учениях Приморского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» и

бункеровочных компаний ООО «Морской стандарт» и ООО «Приморская Транспортная Компания». Учения проводились на акватории морского порта Владивосток и были посвящены отработке действий по ликвидации чрезвычайной ситуации, обусловленной разливом нефтепродуктов с аварийного судна.

**С 07.00 27 декабря 2016 года** МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Демидов» принимало участие в поисково-спасательной операции в Черном море в районе крушения самолета Ту-154.

**5 января 2017 года** МВС проекта SDS08 «Углич» приступило к обследованию аварийного танкера «Аракс» для подготовки к его снятию с мели. Погода на месте аварии: ветер восточный, 8 м/с, волнение 1,0-1,5 м. Аварийное судно находится мели в 100 метрах от берега, в районе мыса Песчаный Каракиянского района Мангистаусской области Республики Казахстан.

МВС проекта SDS08 «Углич» было направлено из Астрахани 2 января 2017 года Росморречфлотом для проведения спасательной операции по просьбе МИД Казахстана.

Танкер «Аракс» представлял экологическую угрозу Каспийскому морю. На судне находится более 550 тонн нефтепродуктов, отработанных масел, подсланевых вод и замазученного грунта. В случае повреждения корпуса существовала реальная угроза нанесения существенного ущерба морской среде.

«Аракс» сел на мель 11 ноября 2016 года. Судно сигнала бедствия не подавало. 18 ноября 2016 года аварийное судно осмотрели представители Береговой охраны Республики Казахстан, которые установили, что на следующий день после аварии капитан и члены команды покинули судно. На борту «Аракса» остался механик, который на момент осмотра аварийного судна от помощи отказался. Из объяснений механика установлено, что судно сорвало с якоря и вынесло на мель.

При визуальном осмотре повреждений корпуса не установлено. В районе стоянки судна разлива нефтепродуктов не наблюдается.

**С 14 по 20 января 2017 года** с борта МВС проекта SDS08 «Углич» водолазная служба ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» выполнила обследование подводной части корпуса плавучей буровой установки (далее – ПБУ) «Исполин» в интересах компании ООО «РН-Каспмор».

Работы выполнялись специалистами Каспийского филиала. Обследование подводной части ПБУ «Исполин» проводилось с целью предъявления Российскому Морскому Регистру Судостроительства на подтверждение класса. Проведены работы по освидетельствованию винторулевого комплекса, кормовой оконечности судна, подводной части корпусов судна; донно-бортовой арматуры и устройств.

На основании полученных фото-видео материалов подготовлена исполнительная документация.

**12 февраля 2017 года** МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Заборщикова» обеспечило своевременную эвакуацию члена экипажа СРТМ «Пильтун» для оказания квалифицированной медицинской помощи.

Оперативные действия экипажа спасательного судна позволили своевременно провести эвакуацию для оказания квалифицированной медицинской помощи человеку, попавшему в беду.

**18 и 19 февраля 2017 года** в осуществлении ледокольных проводок из порта Темрюк до Керченского пролива на выход в Черное море приняло участие МАСС мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Демидов», имеющее арктический ледовый класс Arc 5.

В связи с установившимися аномально низкими температурами ледовая обстановка в Азовском море, сложившаяся в настоящее время, аналогична условиям сложной зимней навигации 2011-2012 годов. Азовское море практически полностью покрыто льдом, толщина чистого нового льда составляет 25 см, в торосах – значительно больше.

Для предотвращения возможных чрезвычайных ситуаций с судами в сложных ледовых условиях в адрес Азово-Черноморского филиала ФБУ «Морспасслужба Росморречфлота» поступили обращения об оказании помощи судам в осуществлении ледокольных проводок из порта Темрюк до Керченского пролива на выход в Черное море.

**С 7 февраля 2017 года** МАСС ледового плавания мощностью 4 МВт проекта MPSV07 «Спасатель Карев» обеспечивал поисковые, водолазные и грузоподъемные работы в районе судоходных путей морского порта в районе пос. Сабетта на полуострове Ямал, включая создание судоходного подходного канала в Обской губе. Работы выполняются по контракту с компанией «Фертоинг».

В результате поисковых работ 23 февраля 2017 года МАСС проекта MPSV07 «Спасатель Карев» обнаружил на дне и успешно поднял на борт металлоконструкцию.

Основными факторами, определяющими успешное выполнение всего спектра аварийно-спасательных работ являются: достаточные ледопроездимость, ходкость на чистой воде, мореходность.

Наличие сложного сочетания функций приводит к взаимно противоречивым тенденциям в выборе обводов, главных размерений и других свойств МАСС. Например, при выборе пропульсивного комплекса одновременно необходимо выполнить условия по четырем режимам эксплуатации:

- переход с эксплуатационной скоростью (примерно 70 % от полного хода), характерный для нахождения в заданном районе и для обычных переходов судна;
- режим полного хода при выходе на спасение;
- буксировка плавучих объектов;
- эксплуатация во льдах, в том числе обеспечение ледокольных функций.

С учетом того, что для судов с высокими ледовыми свойствами применение винтов регулируемого шага не рекомендуется, понятно, что оптимальное решение этой задачи для всех четырех режимов невозможно. Практический подход состоит в поиске «золотой середины» – компромиссного решения.

Широкий спектр вышеупомянутых требований требует большого внимания и обоснованности в принятии решений, особенно на начальных стадиях. Форма корпуса судов ледового плавания является компромиссом между двумя противоречивыми требованиями – ледопроеходимостью и ходкостью на чистой воде. Соответствующий баланс между ними определяется приоритетом миссии судна. Следует иметь в виду, что обычной платой за ледопроежимость являются плохая ходкость и мореходность.

В качестве прототипов рассматривались: ледокольные суда различного назначения, включая ледоколы мощностью до 10 МВт, предназначенные для ледокольного обслуживания транспортных судов на подходов участках к портам, расположенным на побережье замерзающих неарктических морей; и многофункциональные суда обеспечения и снабжения для обслуживания буровых установок – арктические транспортные буксиры-снабженцы и суда обеспечения, участвующие в защите буровых установок от воздействия льда, их транспортном обслуживании и эпизодических буксировках. При этом учитывался тот факт, что суда, обслуживающие буровые платформы, при доставке снабженческих грузов совершают значительные переходы по чистой воде. Для современных ледоколов также характерно сочетание высоких ледокольных и удовлетворительных мореходных качеств, так как в летнее время они совершают значительные переходы по чистой воде.

Более широкий спектр работ многофункциональных спасательных судов в сравнении со специализированными ледоколами **принципиально меняет** подход к выбору формы корпуса. Поскольку, кроме выполнения ледокольных операций спасательные суда, прежде всего, должны работать согласно основному назначению, для них не могут быть рекомендованы обводы традиционного ледокольного типа. Наиболее предпочтительным является компромиссный вариант обводов, обеспечивающий требуемый уровень ходовых качеств судна как в ледовых условиях, так и на чистой воде.

## Выводы

1. Успешная разработка проектов новых многофункциональных судов-спасателей показало эффективность сочетания теоретических исследований, современных методов численного моделирования и более традиционных испытаний моделей в опытовых бассейнах и в аэродинамической трубе для создания принципиально отличных от ранее используемых концептов судов специального назначения.

2. Правильное определение основной и вспомогательных миссий судна, выбор соответствующих прототипов, использование надежных статистических данных и приближенных зависимостей позволяют определить сочетание оптимальных характеристик формы корпуса и главных размерений на начальных стадиях проектирования.

3. В итоге, Морским Инженерным Бюро были разработаны проекты МАСС с одной стороны, обладающие высокими ледовыми качествами, а с другой стороны, хорошей ходкостью в условиях чистой воды и мореходностью.

Успешный опыт применения построенных судов-спасателей нового поколения является достойной иллюстрацией этого тезиса.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабанин В.П. Судоподъемные операции. – Одесса: Феникс; М.: РКонсульт, 2006, 206 с.
2. Буянов А.С. Анализ состояния аварийно-спасательного флота России // Проблемы развития морского флота: Сб. трудов ЦНИИМФ. – 2009. – С. 107-114.
3. Грамузов Е.М., Май В.К. Определение основных характеристик спасательного судна методом совместного решения уравнений теории проектирования // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2013. – Вып. 3 (22). – С. 25-33
4. Гурович А.Н., Родионов А.А. Проектирование спасательных и пожарных судов. – Л.: Судостроение, 1971. – 288 с.
5. Гурович А.Н., Круталевич Н.И. Тенденции развития пожарных судов // Судостроение, 1980. – № 11. – С. 3-7.
6. Егоров Г.В., Хаустов А.В. «Линейка» многофункциональных судов-спасателей гражданского назначения // Морская Биржа. – 2013. – № 2 (44). – С. 18-29.
7. Егоров Г.В., Хаустов А.В., Автутов Н.В. Серия многофункциональных аварийно-спасательных судов мощностью 4 МВт ледового плавания проекта MPSV07 типа «Спасатель Карев» // Судостроение. – 2014. – № 1. – С. 18-25.
8. Зорбиди В.Н. Аварийно-спасательные и судоподъемные операции. – М.: Транспорт, 1976. – 216 с.
9. Любимов Е.В. Выбор проектных характеристик пожарных судов на ранних стадиях проектирования // Судостроение. – 1986. – № 3. – С. 4-5.
10. Сидорченко В.Ф. Суда-спасатели и их служба. – Л.: Судостроение, 1983. – 240 с.
11. Хаустов А.В. Развитие спасательного флота // Нептун, 2014. – № 5. – С. 44-53.

12. *Concept Development, Detailed Design and Construction of the Three Forty Three - North America's Most Powerful Fireboat/ R.G. Allan, K.D. Harford, D. Noon, J. Bjerkeset, J. Dalton, W. Siegel // Trans. of SNAME. – Vol. 118. – 2010. – P. 49-75.*
13. *Egorov G.V., Nilva A.E., Davydov I.F. Principles of Creation of New Generation of Russian Multipurpose Rescue Vessels for Ice Conditions // Proc. of the 11th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (PRADS 2010). - Rio de Janeiro, Brazil, 2010. – Vol. 1. – P. 569-578.*
14. *Hovland Erlends. On the Impact of the Operational Profile on Ideal Design of Diving Support Offshore Construction Vessel // Marine Technology. – Vol. 45. – № 2. – April 2008. – P. 77-88.*
15. *Pike Dag. Towing and Salvage // Work Boat World. – 1992. – № 11. – P. 39, 41-42.*

*Стаття надійшла до редакції 12.05.2017*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Одеського національного морського університету  
**А.В. Гришин**

доктор технічних наук, професор, головний науковий співпрацівник Морського Інженерного Бюро, науковий консультант  
**В.В. Козляков**

УДК 629.125.1/3

А.О. Канифольский, Ю.М. Ларкин

### НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛЫХ ОДНОКОРПУСНЫХ СУДОВ ПЕРЕХОДНОГО РЕЖИМА

*В статье определены направления развития теории проектирования малых однокорпусных судов переходного режима движения. Эти суда выделены в отдельную группу и доказано, что для эффективного создания их проектов требуется специальное исследование. Описаны начальные стадии разработки проекта. Сделаны предположения о выборе методов оценки проекта, с применением теорем подобия и «структурирования функций качества».*

**Ключевые слова:** малотоннажное судно, переходный режим движения, теория проектирования судов, начальные стадии проекта.

*У статті визначені напрямки розвитку теорії проектування малих однокорпусних суден перехідного режиму руху. Ці судна виділені в окрему групу й доведено, що для ефективного створення їх проектів потрібне спеціальне дослідження. Описано початкові стадії розробки проекту. Зроблено припущення про вибір методів оцінки проекту, із застосуванням теорем подібності та «структурування функцій якості».*

**Ключові слова:** малотоннажне судно, перехідний режим руху, теорія проектування суден, початкові стадії проекту.

*Directions for the development of the theory of designing small monohull vessels of the transitional mode are defined in this article. These vessels are in a separate group. A special study is required to effectively create the projects of such vessels. The initial stages of the project are described. Assumptions about the choice of methods for evaluating the project, using similarity theorems and «Quality Functions Deployment» were made.*

**Keywords:** small monohull vessels, the transitional mode, methods for evaluating the project, the initial stages of the project.

**Постановка проблемы и анализ публикаций.** В книге Л.М. Ногида [7] приведено следующее высказывание: «Методы теории проектирования судов применимы к судам и кораблям любого типа и класса. Однако в пределах каждого типа и класса имеются свои специфические условия, определяющие ту или иную постановку задачи. В соответствии с этим и методика определения элементов судна в ее конкретной интерпретации может претерпевать значительные изменения.... Поэтому теория проектирования судов не может охватить все возможные на практике случаи, и принуждена ограничиться рассмотрением вопросов, имеющих более или менее общее значение.

Это дает основание излагать специфические вопросы, касающиеся проектирования отдельных типов судов, в специальных трудах».

Малые суда представляют собой особую группу плавсредств, для классификации, проектирования, постройки и эксплуатации которых требуются специфические подходы. Разные классификационные общества, в разное время по-своему определяли «малость» судна. Например, Bureau Veritas (BV) выделяет группу судов длиной менее чем 65 м [11]. Lloyd's Register of Shipping считает малыми металлические суда длиной менее 50 м и суда длиной менее 30 м, корпуса которых построены из пластика или дерева. Регистр судоходства Украины рассматривает судно как малое, если его длина менее 24 м [9]. Зачастую такой подход к определению критерия «малости» судна связан с внешними условиями, в которых предполагается эксплуатировать судно, а также соображениями обеспечения его прочности.

Во многих международных конвенциях (МК) предъявлены требования к судам длиной более чем 24 м. Такой подход наблюдается в требованиях МК о грузовой марке и МК по обмеру судов. Правила МК СОЛАС [13] применимы к грузовым судам валовой вместимостью менее 500. Применяв для расчета валовой вместимости упрощенный метод ИМО, можно сделать следующие выводы. Согласно с этим методом валовая вместимость судна определяется по формуле:  $GT_p = aV_E$ . Коэффициент  $a$  зависит от значения кубического модуля  $V_E = LBD$  и выбирается из соответствующей таблицы. Для судна имеющего кубический модуль равный 500, коэффициент  $a$  принимает значение 0,54. Подставив в формулу  $V_E = LBD$  среднестатистические относительные величины  $\frac{B}{d} = 3$ ,  $\frac{L}{B} = 6$  и отношение высоты борта к осадке характерное для судов с минимальным надводным бортом  $\frac{D}{d} = 1,25$  получим значение длины судна около 45 м.

Кроме того как отмечено в книге [4] суда с динамическим поддержанием требуют большую мощность энергетической установки и именно поэтому размеры этих судов невелики: весовое водоизмещение  $\Delta \leq 500$  т.

Попытка определить критерий малости судна, основываясь на его прочностных характеристиках, была сделана в работе [8]. В этой работе предполагается, что малое судно имеет длину менее, чем 24 м.

**Цель исследования.** Выяснить возможность и необходимость разработки основных направлений теории проектирования для малых однокорпусных судов переходного режима. Определить основные методы исследования.

**Изложение основного материала исследования.** Из большого разнообразия корпусов, которые могут эксплуатироваться в переходном режиме движения (однокорпусные, катамараны, тримараны, суда с малой площадью ватерлинии и т. д.), необходимо выделить группу однокорпус-



ных судов, так как в одной работе нет возможности рассмотреть все возможные варианты.

Что касается переходного режима движения судов, то этот режим изучен еще недостаточно и требуется уточнение существующей информации по этому типу движения и создание новых положений необходимых для проектанта. Некоторые существующие работы по определению главных размерений скоростных судов [1; 14; 15] не могут охватить все вопросы процесса создания безопасного и эффективного судна, как не сможет этого сделать и это исследование. Поэтому в данной работе предполагается учесть новые направления развития международных нормативных документов и выяснить те «белые пятна» в теории проектирования судов, которые требуют дополнительного, более тщательного внимания.

В современной версии МК СОЛАС [13] дается следующее определение быстроходного судна: «Высокоскоростное судно – это судно, способное развивать максимальную скорость (м/с) равную или превышающую  $v_{\max} = 3,7V^{0.1667}$ ». Представив число Фруда по водоизмещению в виде  $v = 3,13Fr_v^{0.1667}$ , можно сделать вывод, что судно можно считать высокоскоростным при  $Fr_v \geq 1,18$  [6]. Значение этой относительной скорости характерно для начала переходного режима движения судна,  $1,0 \leq Fr_v \leq 3,0$ . При этом типе движения наблюдается рост гидродинамических сил, что ведет к уменьшению осадки и росту дифферента на корму.

В труде А.В. Бронникова [2] выделены две основные части теории проектирования судов: *содержательная и формально-математическая*. В обеих частях существуют *внешняя и внутренняя задачи*. Предназначение формально-математической части – разработка математических методов решения задач содержательной части и автоматизация процессов их решения.

В данной работе *формально-математическая часть* рассматриваться не будет, так как она достаточно полно изложена в курсах теории корабля и теории проектирования судов. Стоит отметить, что в настоящее время существует достаточно много версий программного обеспечения, которое предназначено для решения вопросов связанных с автоматизацией процессов реализации математических методов в области теории проектирования судов. Например: AutoCAD, FREEship, Dialog Statika.

Что касается *содержательной* части теории проектирования малых однокорпусных судов переходного режима движения, то она будет рассмотрена детально с точки зрения решения ее *внутренней и внешней задач*.

В теории проектирования малых однокорпусных судов переходного режима движения возможно применение некоторых положений общей теории проектирования судов, но специфика режима эксплуатации

малых быстроходных плавсредств требует более основательной проработки некоторых моментов.

К области *внешней задачи содержательной части* теории проектирования обычно относят: разработку способов оптимизации флота; задачу пополнения флота; установление общих требований к судам.

На рисунке 1 приведена одна из возможных классификаций морских судов. Можно отметить, что эксплуатация в переходном режиме движения может быть характерна для пассажирских, грузопассажирских судов, для судов специального назначения и разъездных. Также существует достаточное количество катеров и кораблей военно-морского флота, которые эксплуатируются при относительных скоростях переходного режима. Подход с применением изучения полной классификации морских судов используется с целью выделить из общей массы типов судов малые быстроходные суда.



Рис. 1. Вариант классификации судов

Одной из основных задач, которая будет стоять перед проектировщиком, будет *задача по снижению сопротивления среды* (воды и воздуха) при движении в переходном режиме. Как известно в этом режиме наблюдается так называемый горб сопротивления. Также известно, что для этого варианта движения характерно появление гидродинамических подъемных сил  $Y$ , в результате действия которых судно всплывает, его объемное водоизмещение уменьшается до значения  $V_1$ , возникает дифференциал на нос, затем на корму и в результате возрастает волнообразование. Уравнение равновесия сил веса и сил поддержания принимает вид  $\Delta = \gamma V_1 + Y$ .

Добиться решения общей задачи, по снижению сопротивления среды, возможно решив несколько частных задач: *выбор оптимальной формы обводов и безразмерных характеристик корпуса; снижение веса конструкций за счет выбора материала корпуса и формы его обводов; выбор необходимой центровки корпуса судна.*

Не менее важной задачей является обеспечение непотопляемости судна. В настоящее время существуют два официально признанных метода оценки непотопляемости судов: графо-аналитический (предельных длин отсеков) метод и вероятностный. Причем вероятностному методу отдается предпочтение. Это следует из дополнений к конвенции СОЛАС, в последней версии которой сделана попытка применить вероятностный метод оценки непотопляемости ко всем типам новых судов, но область быстроходных судов осталась не охваченной. Кроме того в последнее время появились предложения внести в Кодекс по высокоскоростным судам изменения в подходах к определению размеров вероятного повреждения корпуса. Предлагается увеличить длину возможного повреждения судна до 55 % от длины судна в носовой части и до 35 % от длины судна на остальной протяженности. International Code of Safety for High Speed Craft (HSC Code), применительно к быстроходным судам категории А, содержит сведения о возможной длине повреждения равной  $0,1L$ , или  $3m+0,03L$ , или 11 метров, в зависимости оттого, что меньше. Для судов категории В, длина повреждения днища увеличивается на 50 %, в случае повреждения носовой части судна ( $0,5L$ ). Новое положение этого кодекса содержит новый подход к оценке размеров повреждений. Длина бортового повреждения зависит от  $V$  – объемного водоизмещения, соответствующего расчетной ватерлинии ( $m^3$ ),  $l_d = 0,75V^{1/3}$  или  $(3 м + 0,225V^{1/3})$ , или 11 м, смотря по тому, что меньше. Главное отличие нововведения, по сравнению со старыми версиями – это применение в расчетных формулах объемного водоизмещения вместо длины. Для решения общей задачи по обеспечению непотопляемости быстроходного малого судна необходимо решить *частную задачу о возможных размерах пробоины корпуса*. Решать эту задачу необходимо, учитывая кинетическую энергию судна. В этом же разделе необходимо рассмотреть важные, прямо и косвенно связанные с непотопляемостью, *частные задачи по заливаемости, запасу плавучести и надводному борту*.

Остойчивость судов переходного режима недостаточно изучена. Например, в HSC Code рассмотрены требования к остойчивости судов двух режимов движения: водоизмещающего и глиссирующего. Предлагается показать, что во время перехода из одного режима в другой остойчивость судна изменяется незначительно. Методы расчета не предлагаются. Предполагается в сфере развития теории проектирования малых судов переходного режима движения решить *общую задачу обеспечения остойчивости* путем решения *частных задач, по определению сил, действующих на корпус быстроходного судна во время его движения*.

В настоящее время существуют так называемые «параграфные» суда, то есть применение тех или иных требований международных конвенций или национальных Правил к судам зависит от их валовой вместимости. Необходимо определиться с термином «малое судно» рассматривая его с точки зрения его валовой и чистой вместимости. Для решения этой задачи возможно применения методов расчета *вместимости*, которые предлагает ИМО.

В области выбора оптимальной формы обводов и безразмерных характеристик корпуса судов существует ряд рекомендаций, которые приводят различные исследователи, например [10]. Следует отметить, что ранее никем не рассматривалось решение задачи о *максимально возможном значении относительного удлинения корпуса*  $\frac{L}{\sqrt[3]{V}}$ . Остается нерешенным вопрос о влиянии *килеватости* корпуса на *снижение веса его конструкций*.

Внесение ряда изменений в действующую конвенцию о грузовой марке, вызывает необходимость в рассмотрении задач по *заливаемости, запасу плавучести и надводному борту применительно к малому быстроходному судну*.

В теории проектирования судна, несомненно, необходимо ставить во главу угла такие параметры судна как его *безопасность, надежность и эффективность*. Эти параметры могут быть обеспечены только после решения задач о мореходных качествах судна, с применением элементов теории корабля и строительной механики корабля.

Все эти вопросы напрямую связаны с *теорией проектирования судна*, так как при их решении предполагается рассматривать их с точки зрения нахождения оптимальных элементов судна, которое проектируется. Такая постановка решения *обратной задачи* предложена А.В. Бронниковым. Более того в теории проектирования малых однокорпусных судов переходного режима движения предполагается следовать рекомендациям [7], то есть применять «...*комплексный подход к проектируемому судну*...».

Для внедрения такого подхода к проекту судна, уже на первых стадиях, необходимо разработать ряд критериев, позволяющих оценить, то или иное качество судна. Для решения этой задачи применимы теоремы подобия,  $\pi$ -теорема Бэкингема, которая гласит: общую функциональную зависимость, связывающую между собой  $A$  переменных величин при  $B$  основных единицах их измерения, можно представить в виде зависимости между  $(A-B)$  безразмерных комплексов этих величин (критериев). Эти подходы используются в кораблестроении достаточно давно: вывод критериев Фруда и Рейнольдса, критерий погоды.

Более подробно метод вывода критериев можно рассмотреть на примере формулы для расчета коэффициента перегрузки

$$n = \frac{F}{\Delta} = 0,3Fr_v^2 = 0,3 \frac{v^2}{g^{\frac{1}{3}}V}$$

(отношение силы удара оконечности о волну и водоизмещения судна) [5]. Формула получена на основе анализа экспериментальных данных и информации, представленной классификационными обществами GL и BV. Для судна, находящегося в пресной воде, можно записать

$$\frac{F}{\Delta} = 0,3 \frac{v^2}{g^{\frac{1}{3}}\Delta}$$

Переменных величин четыре, основных единиц измерения три, возможных критериев – один. Критерий будет описан формулой

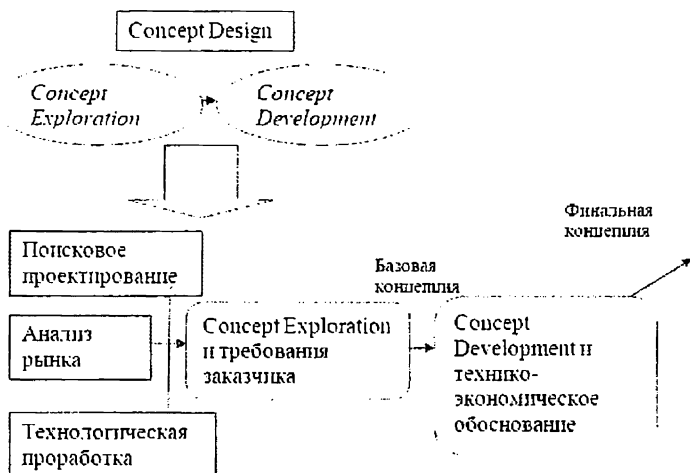
$$Lo = 0,3 \frac{v^2}{ng^{\frac{1}{3}}\Delta} = \frac{0,3Fr_v^2}{n}$$

Пользуясь этим выражением, можно сравнивать суда на основании данных об их относительной скорости и перегрузках.

На ранних стадиях проектирования судна уже необходимо применять комплексный подход с использованием новых критериев. Для этого возможно применение японского метода, известного как «структурирование функции качества» или «дом качества» [3].

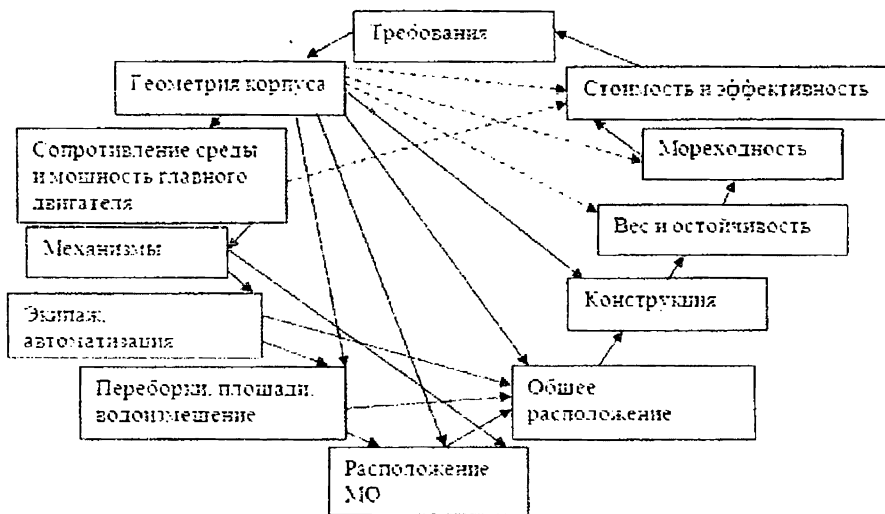
Для более точного определения термина «ранние стадии проектирования» ниже будет приведена текстовая информация и рисунки, позволяющие сравнить различные подходы к этому вопросу. Стадии разработки проекта судна достаточно полно описаны в [12]. Первая ступень проектирования Concept Design включает две фазы этого процесса: концептуальное исследование (Concept Exploration) и разработку концепции (Concept Development). Вторая и третья ступени – это Contract Design и Detail Design. Иногда применяют дополнительные стадии, например, Preliminary Design может быть включен в состав Contract Design или рассматриваться как отдельная ступень. Рассматривают отдельно стадию Class Design, которая по сути базируется на Contract Design и предусматривает проверку проекта судна на соответствие требованиям Правил классификационного общества.

Результатами первой фазы Concept Exploration (рис. 2) являются: предварительная оценка затрат и эффективности; выбор технологии и базовой концепции с основными характеристиками, предварительная («one digit») оценка веса, рисков.



*Рис. 2. Составляющие стадии Concept Design*

Вторая фаза (Concept Development), рисунок 3, представляет собой традиционную спираль проектирования. Результат этого процесса – более подробная проработка геометрии судна и составляющих веса («two – digit» оценка), предварительная комплектация судна, эскиз теоретического чертежа, предварительная проработка общего расположения и оценка мореходных качеств.



*Рис. 3. Спираль проектирования Concept Development*

Пунктиром показаны связи, добавленные одним из авторов этого исследования, так как геометрия корпуса будет оказывать влияние на такие характеристики как: стоимость и эффективность, мореходность, вес

и остойчивость. Сопротивление среды и мощность главного двигателя связаны со стоимостью и эффективностью будущего судна.

Анализируя приведенную выше информацию о стадиях проектирования, можно отметить, что технический проект и Contract Design находятся примерно на одинаковом уровне работ. Detail Design соответствует стадии разработки рабочей конструкторской документации. Составляющие общего проекта: техническое задание, техническое предложение и эскизный проект – это уровень Concept Design.

**Выводы.** Малые однокорпусные суда переходного режима движения относятся к специфической группе судов и для их эффективного проектирования необходимо дальнейшее развитие теории проектирования судов. Ниже приведены основные направления развития теории проектирования судов в этой области.

Снижение сопротивления среды судов переходного режима можно осуществить за счет: выбора оптимальной формы обводов и безразмерных характеристик корпуса; снижения веса конструкций, учитывая материал корпуса и форму его обводов; выбора необходимой центровки корпуса судна. Ранее никем не рассматривалось решение задачи о максимально возможном значении относительного удлинения корпуса  $\frac{L}{\sqrt[3]{V}}$  и

вопросе влияния килеватости корпуса на снижение веса его конструкций.

При обеспечении непотопляемости быстроходного малого судна необходимо определиться с возможными размерами пробоины корпуса, в соответствии с новыми международными требованиями. Возможно, для решения этой задачи необходимо разработать новые подходы, которые учитывают кинетическую энергию судна.

Необходимо определиться с термином «малое судно», рассматривая его с точки зрения его валовой и чистой вместимости.

Ряд изменений конвенции о грузовой марке вносит свои коррективы в рассмотрение задач по заливаемости, запасу плавучести и надводному борту применительно к малому быстроходному судну.

Необходимо, развивая теорию проектирования малых судов переходного режима движения, решить задачу по определению сил, действующих на корпус быстроходного судна во время его движения

Комплексный подход к проектируемому судну на начальных стадиях проекта можно базировать на новых критериях, которые могут быть получены с применением теорем Бэкингема и инструмента проектирования, известного как «дом качества».

Применение вышеупомянутых теорем показано на примере вывода формулы для критерия

$$L_o = 0,3 \frac{v^2}{ng^3 \sqrt{\Delta}} = \frac{0,3 Fr_r^2}{n}.$$

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баадер Х. *Разъездные, туристские и спортивные катера*. – Л.: Судостроение, 1977. – 382 с.
2. Бронников А.В. *Проектирование судов*. – Л.: Судостроение, 1991. – 319 с.
3. Джонс Р. Хойзер, Дон Клодинг. *Дом качества. Курс на качество № 1*. – Калуга, 1992. – С. 85-102.
4. Жинкин В.Б. *Ходкость быстроходных судов*. – Л.: ЛКИ, 1980. – 91 с.
5. Канифольский А.О. *Относительная длина малых судов прибрежного плавания переходного режима движения: Зб. наук. праць національного університету кораблебудування*. – Миколаїв: Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, 2010. – № 5. – С. 35-39.
6. Канифольский А.О. *Термин «быстроходное малое судно прибрежного плавания»: Зб. наук. праць ОНМУ*. – Одеса: ОНМУ, 2010. – № 29. – С. 17-25.
7. Ногид Л.М. *Теория проектирования судов*. – Л.: Судпромгиз, 1955. – 480 с.
8. *Опыт проектирования и постройки, состояние и перспективы малотоннажного судостроения: Тез. докл. научно-техн. конф.* – Вып. НТО им. акад. А.Н. Крылова 79. – 1966. – 140 с.
9. *Регистр судоходства Украины. Правила классификации и постройки малых судов*. – В 3-х т. – Т. 1. – 70 с.
10. *Справочник по малотоннажному судостроению / М.М. Аливагабов, Д.Л. Бирюкович, Ю.Л. Бирюкович, К.Л. Бирюкович, В.И. Васильев, Л.Г. Махаринский, Э.Ф. Мирошниченко, Б.Г. Мордвинов, А.И. Немзер, А.И. Павлов, И.А. Разгоняева, Д.И. Сквирский, А.Р. Скубко, В.П. Соколов, Е.И. Фишбейн, Л.Л. Хейфец, П.С. Якиширов*. – Л.: Судостроение, 1988. – 573 с.
11. *Bureau Veritas. Rules and Regulations for the Classification of Ships of less than 65 m in length. Part II-B. Hull Structure. Chapter 13. Light highspeed ships*. – France: Imprimerie strasbourgeoise, 1990. – 16 p.
12. *David Cash. Design Report Agile Surface Combatant (ASC) VT Total Ship Systems Engineering. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004*. – 108 p.
13. *International Maritime Organisation. SOLAS, London, 2009*. – 421 p.



14. *Prabhat K Pal, Dugald Peacock. Preliminary design of high-speed monohull ferries // The Naval Architect. – 2001. – № 9. – P. 19-22.*
15. *Per Werenskiold, Tor H. Vollen. Preliminary design of semi-planing craft // Ship & Boat International. – 1971. – № 2. – P. 20-22.*

*Стаття надійшла до редакції 24.03.2017*

**Рецензент** – кандидат технічних наук, доцент, технічний директор Морського інженерного бюро **В.І. Тонюк**

УДК 621.181.2

А.Г. Данилян, В.И. Залож, М.И. Руденко

### СОЗДАНИЕ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В ОТХОДЯЩИХ ГАЗАХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*Выполнены исследования по использованию судовых катализаторов для снижения вредных выбросов на выпускном тракте судовых главных двигателей. В статье обобщены материалы поляризации углеводородного топлива и даны новые направления в использовании топливных катализаторов ТК на речном и морском флоте. Показана конкретика экспериментов ТК на судовых главных двигателях с разработкой программы испытаний. Намечены новые эксперименты длительного использования ТК в рейсе судна на различных режимах работы его главной энергетической установки.*

**Ключевые слова:** топливный катализатор ТК, селективные катализаторы, снижение вредных выбросов судовых двигателей, снижение расхода топлива двигателя, поляризованное топливо, высокая цена судовых катализаторов, плакирующий эффект.

*Виконано дослідження по використанню судових каталізаторів для зниження шкідливих викидів на випускному тракті судових головних двигунів-лей. У статті узагальнені матеріали поляризації вуглеводневого палива і дані нові напрямки в використанні паливних каталізаторів ТК на річковому і морському флоті. Показана конкретика експериментів ТК на судових головних двигунах з розробкою програми випробувань. Окреслено нові експерименти тривалого використання ТК в рейсі судна на різних режимах роботи його головної енергетичної установки.*

**Ключові слова:** паливний каталізатор ТК, селективні каталізатори, зниження шкідливих викидів судових двигунів, зниження витрати палива двигуна, поляризоване паливо, висока ціна судових каталізаторів, плакируючий ефект.

*The studies on the use of catalysts to reduce ship emissions in the exhaust tract of the main ship Motor-lei. The paper summarizes the material polarization of the hydrocarbon fuel and given a new direction in the use of fuel catalysts TC on the river and the sea going ships. Shown specifics TK experiments on ship main engines with the development of the test program. New experiments are planned long-term use of TC in sailing on the various modes of its main power plant.*

**Keywords:** TC fuel catalyst, selective catalysts, reduction of harmful emissions of marine engines, reducing fuel consumption of the engine, fuel is polarized, the high price of ship catalysts, cladding effect.

**Постановка проблеми.** Концентрація шкідливих викидів в відходних газах двигачей внутрішнього згорання в атмосфері і на поверхні землі із года в год підвищується. Природа нашої середовища обитання уже не спроможна справитися естественним шляхом очищення і самовосстановлення з постійно збільшуваним об'ємом отруйованих речовин. Около 70 % шкідливих викидів планета отримує від автомобільного транспорту, 15 % викидів приходить на річній і морській флот, інші 15 % – це викиди промислових підприємств, ж-д транспорту, вулканічної активності [1]. Подібна диференціація шкідливих викидів, дуже умовна і має свої різні інтерпретації по найбільш розповсюдженим забруднювальним речовинам. Особливою небезпечністю для здоров'я людини представляють тверді викиди (сажа, зола) в відходних газах дизельних двигачей, нормовані димністю викидів.

В останнє час вводиться обмеження шкідливих викидів з відходними газами ДВС згідно з вимогами шостого додатку МАРПОЛ і Паризької конференції ООН по програмі ЮНЕП 12 грудня 2016 року. Наряду з посиленням викидів оксиду азоту  $\text{NO}_x$ , для всіх видів транспорту і промислових підприємств на паритетних умовах угоди, вводиться зниження діоксида вуглецю  $\text{CO}_2$ . Метою угоди (згідно з статтею 2) є «активізувати виконання» Рамочної конвенції ООН по зміні клімату, зокрема, утримати ріст глобальної середньої температури «набагато нижче»  $2^\circ\text{C}$  і «зосередити зусилля» для обмеження ріст температури величиною  $1,5^\circ\text{C}$ . Учасники угоди оголосили, що пік емісії  $\text{CO}_2$  повинен бути досягнутий «настільки швидко, наскільки це буде можливо». Страны-учасники визначають свої внески в досягнення декларованої загальної мети в індивідуальному порядку, переглядають їх раз в п'ять років. В угоді говориться про недостатність запропонованих в даний час національних внесків, а також про «амбіциозності» і «прогресі» по мірі їх перегляду. Не передбачається жодного механізму примусу, як в стосунку до декларування національних цілей, так і в забезпеченні обов'язковості їх досягнення [2]. 4 грудня 2016 року, відбулося історичне подія по ратифікації Паризької угоди, під якою поставили свої підписи 55 країн (Україна з опереженням, підписалась по угодою 22 квітня 2016 г.).

ІМО в останнє час ініціює посилення вимог до викидів з судових двигачей. Починаючи з 1 січня 2015 року в особливих зонах плавання (SECA), а це практично сьогодні вся Європа, США і др. райони, повинні використовувати паливо з вмістом сірки не більше 0,1 %. Тяжелі сорти палива, є основними в використанні судами на морському флоті, де ще до недавнього часу було практично отримати такий низький відсоток вмісту сірки. Судовласники змушені переходити на легкі і важкі низькосер-

нистые сорта топлива, что значительно удорожает перевозки, повышает бункерную составляющую каждого чартера.

Вся гамма требований подотчетных ООН организаций – практически для ряда стран не выполнима. Так, РФ не в состоянии выполнить требования Приложения VI МАРПОЛ в отношении третьего уровня выбросов оксида азота, которое вступает в силу после 01.01.2016:

- 3,4 г/кВт\*ч для малооборотных двигателей;
- $9n^{(-0,2)}$  г/кВт\*ч для среднеоборотных двигателей, где  $n$  – число оборотов двигателя;
- 2,0 г/кВт\*ч для высокооборотных двигателей.

Вводится среднегодовой эксплуатационный коэффициент энергоэффективности ЭКЭЭ с параметрами мониторинга

$$CO_2 = A \times \mathcal{E} \quad (1)$$

где  $CO_2$  – содержание диоксида углерода, г;

$A$  – активность работы судна, тонно-мили;

$\mathcal{E}$  – энергоэффективность, затраты топлива, г/тонно-милю.

Данный коэффициент определен ИМО для судов постройки после 1 июля 2015 г., где в судовом свидетельстве ЭКЭЭ будет учитываться типоразмер судна, расчет  $CO_2$ .

Мировой флот по своей возрастной оценке, определен следующим образом:

- морской флот высокоразвитых стран – 9 лет;
- флот РФ – 20 лет; - развивающихся стран – 12 лет.
- Флот Украины (незначительное количество морских судов) – 30 лет и старше [3].

Американское бюро по надзору за морскими судами, Ассоциация морских судовладельцев, разработали и предлагают ИМО к утверждению ряд жестких требований и штрафных санкций к судам, неспособным выполнить современные требования по снижению вредных выбросов в атмосферу и обеспечить норматив энергоэффективности судов согласно ЭКЭЭ. 195 государств договорились сокращать вредные выбросы в атмосферу для снижения средней температуры воздуха планеты. Самые большие загрязнители воздушного океана – это США и Китай, на их долю приходится 38 % всех мировых выбросов в атмосферу. Важно, что эти две страны долгое время упорствовали в подписании подобных документов (Киотский протокол), сейчас, согласно Парижского соглашения, они обязуются выполнять все требования, принимая меры к снижению  $CO_2$ . Несмотря на принятые решения вне правовых требований Парижской конференцией, организации и страны хотят узаконить свои требования с учетом снижения  $CO_2$ .

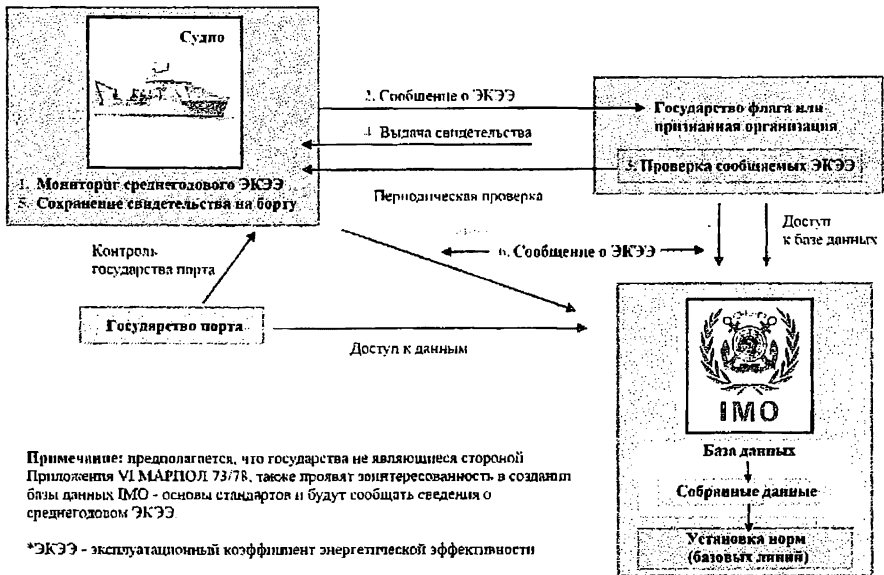


Рис. 1. Схема мониторинга судна по определению коэффициента ЭКЭЭ

**Цель статьи.** Длительное время, используя селективные катализаторы на выхлопе из двигателя в автомобильном транспорте, а в последнее время и на морском флоте, включая дорогостоящие скрубберы, работающие с эффектом барботирования, пропуская отходящие газы СДВС через аммиачный раствор, мы добиваемся значительного снижения оксидов азота, ссыры в ущерб двукратного увеличения  $\text{CO}_2$ , который сегодня жестко нормируется международными документами, включая коэффициент ЭКЭЭ.

Надо признать, что существующие методы очистки вредных выбросов двигателей внутреннего сгорания на линии выпускного тракта себя исчерпали, как в техническом, экономическом, так и в научном плане. Их установка на выхлопном тракте ДВС, противодействует свободному выпуску газов, снижает мощность установки, отрицательно сказываясь на характеристиках работы двигателя. Каталитическая обработка выхлопных газов мощных судовых двигателей, обходится дополнительно при приобретении катализатора и установке его от 4-х до 5 млн. евро. Также необходимо учесть, что незначительное попадание топлива и масла на селективную часть катализатора при работе двигателя, очень быстро делает ее непригодной, замена которой обойдется в 1 млн. евро [3]. Применение дожига отложений в селективном катализаторе не дает желаемых результатов, а лишь на некоторое время продлевает срок его службы.

Выполняя научный поиск, авторы статьи сконцентрировали свое внимание на новые научные разработки обработки топлива с целью снижения вредных выбросов в отходящих газах и расхода его в СДВС. Два

основных направления в реализации стоящей проблемы стали предметом исследований – это поляризация дизтоплива и его обработка в специальных топливных катализаторах, ранее никогда не применяемая на речных и морских судах. Несмотря на достаточно широкое применение топливных катализаторов в автотранспорте, на сегодняшний день не имеется четкой информации по всем вопросам, рассматриваемым в данной статье. Так, например – снижение дымности в автомобильных дизелях и экономии топлива в определенной степени подтверждается конкретными исследованиями и практическими наработками, но наряду с этими положительными моментами, практически незначительно снижается оксид азота  $NO_x$  в выхлопных газах.

Написание этой научной статьи, явилось началом проведения экспериментов по конкретному плану испытаний топливного катализатора на одном из судов ЧАО «УДП». Многие вопросы, к сожалению, не могут быть раскрыты по ряду причин:

- отсутствие международной сертификации тестирования показателей;
- незавершенность начатой работы, согласно с программой испытаний.

**Изложение основного материала.** Совершенствование структуры молекул и молекулярных связей жидкого углеводородного топлива с целью его наилучшего использования и экологичности выбросов продуктов сгорания занимало умы многих ученых в различных странах. Глубокие исследования провел профессор Ю.Л. Климонтович и выявил процессы самоорганизации вещества под воздействием электромагнитного поля с его различной степенью напряженности. В результате проведенных опытов было зафиксировано изменение энтропии топлива, его вязкость изменялась под воздействием электромагнитного поля. В процессе воздействия поля происходили изменения молекулярных связей топлива, которое нашло свое объяснение в фундаментальной физике как понятие «Динамический хаос». В топливном тракте в упорядоченном движении молекул создаются зародышные центры, способные менять состояние молекулы топлива. Было доказано, что этот процесс сопровождается снижением внутренней энергии, созданием дополнительных зародышей с малым количеством углерода и его легких молекул, которые имеют выше теплоту сгорания, и при одинаковом количестве топлива совершают большую работу. Надо понимать, что энергетика топлива возрастает за счет этих изменений – увеличивается молекула углеводородного топлива [4].

Использование топливных катализаторов, открыло новую эру в процессе топливосжигания двигателей внутреннего сгорания. Большое многообразие топливных катализаторов с применением окислов металлов, ионизирующих элементов благородных металлов, таких как платина, палладий, родий, ванадий, нашли свое широкое распространение в автомобильном транспорте на бензиновых и дизельных двигателях.

*Удельная теплота сгорания углеводородов на один атом углерода  
по мере увеличения молекулы углеводородного соединения*

Молекулярное соединение	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	CO
Удельная теплота сгорания на 1 мол. °С	358,2	295,3	318,8	246,6	126,4

Надо признать, что катализаторы этого типа на судах не используются, делаются робкие шаги внедрения их на судах речного и морского флота. Одними из первых в эту работу, подключился наш Дунайский институт Национального университета «Одесская морская академия» (кафедра СЭУ и систем) под руководством академика, д.т.н., профессора П.С. Суворова.

Обработка топлива в ТК позволяет повысить полноту его сгорания, снизить образование вредных веществ при работе двигателя (токсичность выхлопных газов), снизить удельный расход топлива, улучшить условия работы двигателя по критериям износа, и даже восстановить геометрию поверхностей элементов цилиндрико-поршневой группы двигателя. Устройство камерно-кассетного типа, устанавливаемое в топливную систему двигателя, в состав которого входят титановые фильтры-активаторы тонкой очистки, активные элементы химического катализатора и гранулированный катализатор.

**Принцип работы катализатора топлива (КТ).** В первой камере осаждаются тяжелые фракции, попавшие в топливо, а также происходит селективная очистка дизельного топлива от сернистых соединений и смол. Во второй камере топливо каталитически обрабатывается путем контакта его углеводородных молекул с высокопористой активной поверхностью гранулированного катализатора, в состав которого входят соединения металлов и каталитически активных органических включений. После этого топливо обрабатывается на молекулярном уровне таблетками-присадками, солями металлов, которые под воздействием высоких температур и давления в камере сгорания двигателя в виде молекул металла осаждаются на поверхности деталей цилиндрико-поршневой группы. В третьей камере за счет применения титановых стаканов активаторов модифицированное топливо подвергается дополнительной активации и стабилизируется. Эффект каталитической обработки топлива сохраняется в течение 30-40 секунд. Комплексная обработка топлива увеличивает полноту сгорания, за счет чего уменьшается расход топлива и выхлоп в атмосферу вредных веществ с отработавшими газами.

Использование разработанной технологии каталитической подготовки топлива происходит ступенчато с улучшением молекулярного состава топлива методом каталитической обработки и насыщением его солями плакирующих металлов, что обеспечивает следующие отличительные особенности и преимущества катализатора топлива:

- снижение износа двигателя за счет снижения трения и восстановления геометрии поверхностей цилиндропоршневой группы двигателя;

- снижение расхода топлива на 5-20 %;
- снижение массы загрязняющих веществ в выхлопных газах;
- увеличение срока службы моторного масла;
- способность работать в широком температурном диапазоне от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ ;

- повышение мощности и КПД двигателя;
- универсальность конструкции устройства с возможностью использования в различных транспортных средствах [5].

Для использования топливного катализатора в судовых условиях на СДВС специально был изготовлен катализатор для двигателей повышенной мощности с длительностью работы без снижения своей эффективности до 500 тонн обработки топлива. Кафедрой Судовых энергетических установок и систем Дунайского института Национального университета «Одесская морская академия» была разработана и внедрена рабочая схема установки катализатора на конкретное судно.

Испытания проводились с проверкой дымности в отходящих газах на различных режимах работы двигателей с катализатором и без катализатора топлива, также был аналогично проверен расход топлива. Катализатор топлива ТК был установлен перед топливными насосами высокого давления СДВС. Расход топлива измерялся мерным бачком  $V = 5$  л, вмонтированным в рабочую схему. Дымность отходящих газов с СДВС измерялась дистанционным электронным дымомером непосредственно на выходе из двигателей. Промежуточная информация испытаний проверяется в настоящее время на длительных режимах работы СДВС в рейсе, и, после окончания испытаний и утверждения полученных результатов, может быть обнародована в последующих публикациях [6].

Состав

Фильтр-стакан из пористого титана,  $0,3$  микрона

Стержневые химические катализаторы (три вида)

Металлическая сеточка, покрытая хлористым палладием

Таблетки химических катализаторов - 3шт.

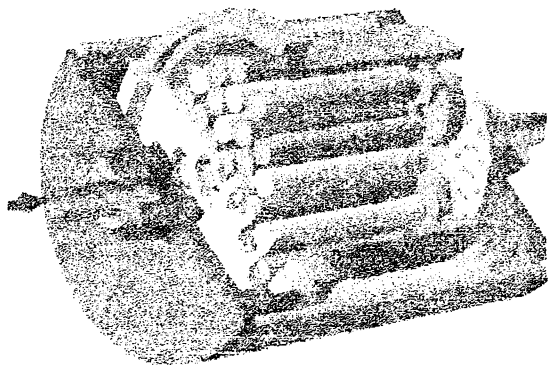


Рис. 2. Устройство катализатора топлива



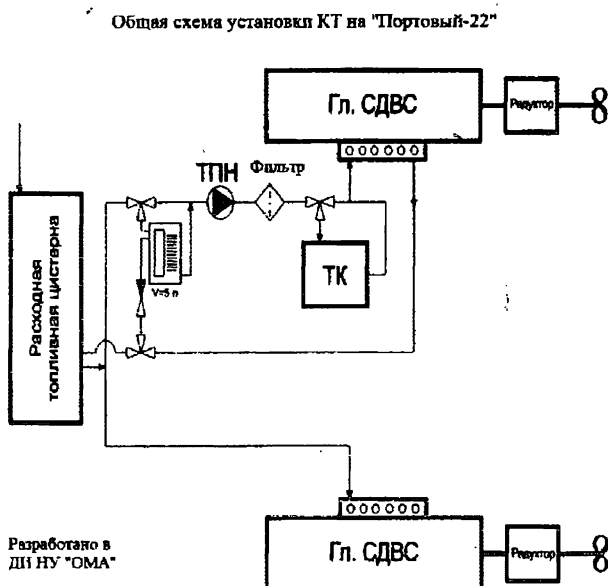


Рис. 3. Рабочая схема установки топливного катализатора ТК на СДВС

**Выводы.** Ужесточение требований по вредным выбросам продуктов сгорания в выхлопных газах судовых двигателей внутреннего сгорания СДВС постоянно нуждается в научном поиске снижения отравляющих веществ, выбрасываемых судовыми двигателями.

Данная статья раскрывает научную динамику развития и совершенствование методов борьбы с выбросами в атмосферу. Показана бесперспективность дальнейшего использования на флоте каталитических катализаторов, устанавливаемых на выхлопном тракте двигателя. Вскрыты новые направления топливных катализаторов в использовании их в судовых двигателях различных моделей. Дано объяснение поляризации тяжелого топлива с изменением его вязкости и энергетической способности под воздействием электромагнитного поля, снижением вредных выбросов в атмосферу. Можно предположить с определенной степенью вероятности, что, используя только топливный катализатор ТК в СДВС с существующими наполнителями, невозможно будет добиться желаемых результатов снижения оксида азота  $\text{NO}_x$  и диоксида углерода  $\text{CO}_2$ . Здесь предстоит большая совместная работа с разработчиками ТК по проведению экспериментов с поиском необходимых каталитических элементов. Возможно нам предстоит вернуться к разработанной схеме поляризованного топлива с использованием топливного катализатора для достижения современных требований по выбросам вредных веществ в отходящих газах СДВС.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Journal of International Scientific Publication, www.scientific-publications.net, 2013-Bulgaria (EU)*. – 124 p.
2. Сайт свободной энциклопедии «Викимедия». – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Парижское соглашение 2015](https://ru.wikipedia.org/wiki/Парижское_соглашение_2015) (дата обращения 20.02.2017)
3. Семанов Г.Н. Вредные выбросы в атмосферу от судов: на пути к стандартам ИМО. – СПб.: Изд-во Наука и транспорт. Морской и речной транспорт, 2013. – С. 45-47.
4. Сайт научно-производственного предприятия «АСК-энергия» – URL: <http://www.ask-e.ru>
5. Гордиенко В.А. Экологическая эксплуатация дизельных установок [Электронный ресурс]. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 8 с. (дата обращения 17.01.2017)
6. Сайт компании «ФИОРД». – URL: <https://www.fiord.com>, [Электронный ресурс]. – К.: Изд-во НПСФ Фиорд, 2015. – 8 с. (дата обращения 17.02.2017)
7. Программа испытаний Преобразователя судового топлива на т/х «Портовый 22». – Измаил: Изд-во Дунайский институт НУ «ОМА», 2016. – 8 с.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2017

### Рецензенты:

кандидат технічних наук, завідувач кафедри Суднових енергетичних установок і систем Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія», механік першого розряду **І.З. Маслов**

кандидат технічних наук, завідувач кафедри Інженерних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» **Т.В. Тарасенко**

УДК 532+697.94

## ЭКОНОМИЧНЫЙ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЬ РАБОЧИХ ЗОН

Т.Д. Панченко, И.А. Тузова, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи

*У статті розглядається охолоджувач повітря для робочих зон побічно випарного типу. Описано результати математичного і натурного моделювання.*

*Ключові слова: робоча зона, охолоджувач повітря, побічно випарний тип, математичне моделювання.*

*В статье рассматривается охладитель воздуха для рабочих зон косвенно испарительного типа. Описаны результаты математического и натурного моделирования.*

*Ключевые слова: рабочая зона, охладитель воздуха, косвенно испарительный тип, математическое моделирование.*

*In the article the air cooler for workplaces indirect evaporative is considered. The results of the mathematical and natural modeling is described.*

*Keywords: work area, air cooler, indirect evaporative type of mathematical modeling.*

**Введение.** Обеспечение комфортных условий работы для работников портов и предприятий морехозяйственной отрасли, несомненно, будет способствовать снижению энергетических затрат, повышению производительности труда и снижению травматизма.

Анализ существующих способов производства холода для комфортного кондиционирования воздуха позволяет выделить испарительное охлаждение воздуха, когда как расходуемый агент используется вода.

В статье рассматривается компьютерное моделирование процессов в каналах установки охлаждения воздуха непрямого испарительного типа. Подобные установки позволяют существенно экономить на потреблении электроэнергии. Кроме того, эти установки экологически безопасны.

Основой аппарата является тепло- массообменная насадка, образованная совокупностью водонепроницаемых пластин (пленок), покрытых увлажняемым пористым материалом.

Наружный воздух поступает в сухие каналы, где он охлаждается за счет теплообмена с сухой поверхностью пластины. Часть охлажденного воздуха идет потребителю, а оставшаяся часть направляется во влажные каналы, где воздух насыщается парами воды, испаряющейся с поверхности пористого материала. На испарение воды отбирается тепло от воздуха, проходящего в сухом канале.

В охладителе подобного типа реализуются процессы тепло-масо-переноса в системе плоских каналов сложного профиля при величине отношения ширины канала к зазору от 10 до 20. Режим течения воздуха в каналах преимущественно ламинарный.

При исследовании охладителей воздуха косвенно-испарительного типа рассматривались два основных варианта:

- схема перекрестного тока (схема Мунтерса);
- схема противотока (схема Нейхарта).

С точки зрения минимизации затрат на прокачку воздуха схема Мунтерса имеет преимущества. Однако схема Нейхарта позволяет достичь более низких значений температуры охлажденного воздуха.

Для охладителей воздуха локальных рабочих зон предлагается комбинированная схема. В этом случае проводится промежуточный отбор охлаждаемого воздуха из сухих каналов, который направляется во влажные каналы. Такая схема позволяет существенно сократить расход энергии на прокачку воздуха. Компоновка насадки охладителя с комбинированной схемой течения воздуха представлена на рис. 1.

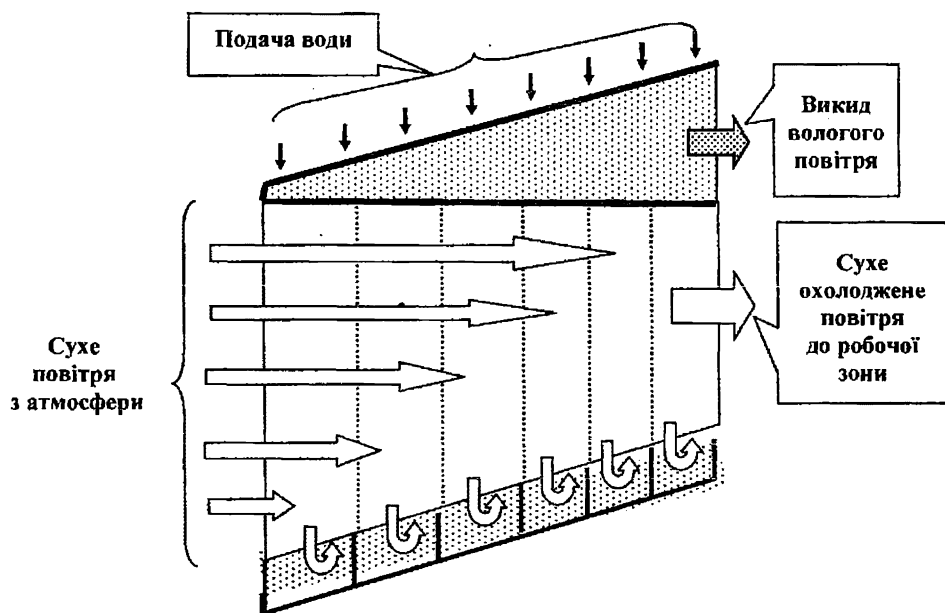


Рис. 1. Комбинированная схема распределения потоков воздуха

Для надежного прогнозирования процессов в воздухоохладителях использован метод математического моделирования.

**Цель статьи.** В статье обобщаются методы проведения вычислительного эксперимента применительно к тепло-массообменному оборудованию. Рассматривается совместное решение системы дифференциальных и алгебраических уравнений, отражающих взаимосвязанные про-

цессы переноса тепла и массы в охладителях воздуха косвенно-испарительного типа. Для каналов сложного профиля предложен эффективный метод моделирования процессов переноса. На базе результатов моделирования получены зависимости локальных коэффициентов теплообмена по длине канала, которые используются в общей модели процессов в охладителе.

**Математическое моделирование тепло-массообмена в системе каналов.** В качестве математической модели процессов переноса в модуле охладителя воздуха использована система обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Связь между значениями температуры воздуха в сухом и влажном каналах осуществляется за счет уравнений, описывающих процесс теплопередачи через разделяющую каналы стенку с учетом процесса испарения воды во влажный канал.

Сложность моделирования процессов в охладителях воздуха косвенно-испарительного типа заключается в том, что теплообменные матрицы содержат большое число каналов. Следует отметить, что каналы тепло-массообменных матриц (как сухие, так и влажные) отличаются малыми конструктивными размерами: зазор (1,5-2,5 мм), ширина (15-30 мм). Кроме того значения параметров (температура и влажность воздуха) мало отличаются в параллельных каналах, расположенных рядом. Поэтому представляется возможным группировать каналы с осреднения параметров потоков в направлении, перпендикулярном вектору скорости, и проводить моделирование центрального (из группы) канала.

Ориентация потоков воздуха и воды относительно координат  $x$  и  $y$  показана на рис. 2.

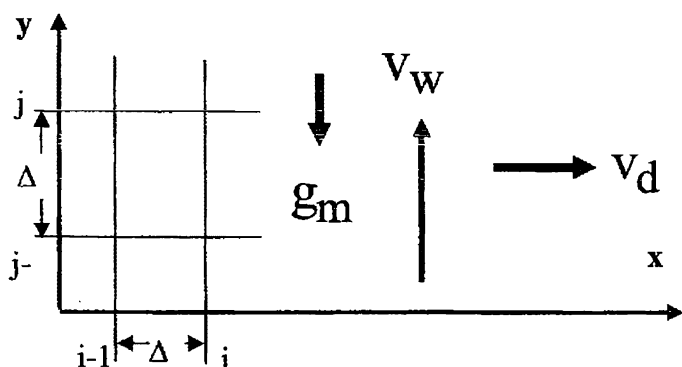


Рис. 2. Направление потоков воздуха при комбинированной схеме:

$V_d$  – скорость воздуха в сухом канале;

$V_w$  – скорость воздуха во влажном канале;

$g_m$  – поток воды, стекающей по разделительной стенке

(1) Процесс переноса тепла в сухом канале описывается уравнением

$$\frac{\delta_d}{2} \cdot v_d \cdot C_{p_d} \cdot \rho_d \cdot \frac{dt_d}{dx} = k_{\Sigma} \cdot (t_m - t_d), \quad (1)$$

где  $k_{\Sigma_{i,j}} = 1 / \left( \frac{1}{\alpha_{d,i,j}} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} \right)$ .

Процесс теплопереноса во влажной пластине, по которой стекает вода, описывается уравнением (2)

$$g_m \cdot C_m \cdot \frac{dt_m}{dy} = -(t_d - t_m) \cdot k_{\Sigma} - \alpha_w \cdot (t_w - t_m) + m \cdot r. \quad (2)$$

Течение воды во влажной пластине описывается уравнением (3)

$$\frac{dg_m}{dy} = m, \quad (3)$$

где  $m_{i,j} = \sigma_{i,j} \cdot (d_{m,i,j} - d_{w,i,j})$ ,  $\sigma_{i,j} = \alpha_{w,i,j} \cdot D / (C_{p_{св}} \cdot a)$ .

Процесс теплопереноса во влажном канале описывается уравнением (4)

$$\frac{\delta_w}{2} \cdot v_w \cdot C_{p_w} \cdot \rho_w \cdot \frac{dt_w}{dy} = \alpha_w \cdot (t_m - t_w) + m \cdot C_{p_n} \cdot t_m. \quad (4)$$

Процесс переноса влаги во влажном канале описывается уравнением (5)

$$\frac{\delta_w}{2} \cdot v_w \cdot \rho_{св} \cdot \frac{dd_w}{dx} = \sigma \cdot (d_m - d_w). \quad (5)$$

В уравнениях (2)-(5) использованы условные обозначения:

$x, y$  – расстояние по координатным осям, м;

$\tau$  – время, с;

$v_d$  – скорость воздуха в сухом канале, м/с;

$v_w$  – скорость воздуха во влажном канале, м/с;

$g_m$  – погонный расход воды, кг/(м·с);

$d_d$  – абсолютная влажность воздуха в сухом канале, кг/кг;

$d_w$  – абсолютная влажность воздуха во влажном канале, кг/кг;

$t$  – температура, К (°C);

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

$c_p$  – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);  
 $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м<sup>2</sup>/с;  
 $\alpha_d, \alpha_w$  – соответственно, эффективные коэффициенты теплообмена в сухом и влажном каналах, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\sigma$  – эффективный коэффициент массообмена на поверхности пластины, кг/(м·с);  
 $\delta_d, \delta_w$  – соответственно, расчетный зазор в сухом и влажном каналах, м;  
 $\delta_{iz}$  – толщина гидроизоляции, м;  
 $\lambda_{iz}$  – коэффициент теплопроводности гидроизоляции, Вт/(м·К);  
 $D$  – коэффициент диффузии водяных паров в воздухе, м<sup>2</sup>/с;  
 $C_m$  – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К);  
 $c_n$  – удельная теплоемкость водяного пара на линии насыщения, Дж/(кг·К).

Для решения одномерных уравнений переноса тепла и влаги [1]-[5] использовался проекционно-сеточный метод [1]. Теплофизические свойства материалов и рабочих веществ принимались согласно литературным источникам [2]. Значения коэффициентов теплообмена в увлажненных каналах принимались согласно [3].

**Моделирование процессов в канале сложного профиля.** Особую сложность представляло определение значений коэффициентов теплообмена в сухом канале, имеющем сложную форму (рис. 3).

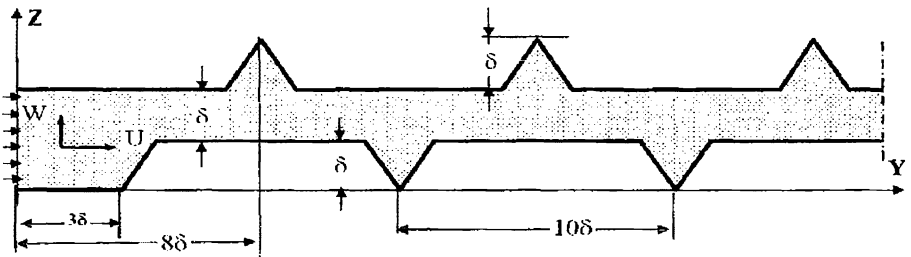


Рис. 3. Форма сухого канала

Для численного моделирования течения вязкой газа в сухом канале при ламинарных и переходных режимах течения разработан модифицированный разностный метод. Задача сформулирована в двумерной постановке.

Процесс течения описывается в естественных переменных уравнением неразрывности (6) и уравнением Навье-Стокса в проекциях на координатные оси (7)-(8). К этим уравнениям добавляется уравнение давления (9). Теплоперенос описывается уравнением (10). В математическую модель добавляется уравнение теплопереноса (10).

$$\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{1}{\nu} \cdot \frac{\partial U}{\partial \tau} + \frac{U}{\nu} \cdot \frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{W}{\nu} \cdot \frac{\partial U}{\partial Z} = -\frac{1}{\nu \cdot \rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial Y} + \left( \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} \right) \quad (7)$$

$$\frac{1}{\nu} \cdot \frac{\partial W}{\partial \tau} + \frac{U}{\nu} \cdot \frac{\partial W}{\partial Y} + \frac{W}{\nu} \cdot \frac{\partial W}{\partial Z} = -\frac{1}{\nu \cdot \rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial Z} + \left( \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial Z^2} \right) \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial Z^2} = 2 \cdot \rho \cdot \left( \frac{\partial W}{\partial Z} \cdot \frac{\partial U}{\partial Y} - \frac{\partial W}{\partial Y} \cdot \frac{\partial U}{\partial Z} \right), \quad (9)$$

$$c_p \cdot \rho \cdot \left( \frac{\partial T}{\partial \tau} + U \cdot \frac{\partial T}{\partial Y} + W \cdot \frac{\partial T}{\partial Z} \right) = \lambda \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right). \quad (10)$$

В формулах использованы обозначения:

$Y, Z, \tau$  – соответственно, координаты и время;

$U, W, P, T$  – компоненты вектора скорости, давление и температура;

$c_p, \lambda$  – удельная теплоемкость и теплопроводность воздуха;

$\rho, \nu$  – плотность и коэффициент кинематической вязкости воздуха.

Принятые граничные условия:

- на поверхностях теплообмена:  $U=0, W=0, dP/dN=0, T_s=f(Y)$ ;

- на входе в канал:  $W=0, U=f(Z), T=T_0, P=P_{in}$ ;

- на выходе из канала:  $P=P_{out}, W=0, d^2U/dY^2=0, d^2T/dY^2=0$ ,

где  $P_{in}, P_{out}$  – соответственно, давление на входе и выходе канала;

$N$  – нормаль к поверхности.

Проводится расщепление задачи на две подзадачи: определение поля скорости и определение поля давления. Согласование решений оговоренных подзадач проводится методом итераций (глобальные итерации).

В статье рассматривается метод конечных разностей (МКР). Этот метод отличается простотой реализации и удобством задания условий на границах области. Однако применение МКР требует осторожности при выборе схем аппроксимации уравнений (6)-(8), так как может возникнуть неустойчивость вычислительного процесса. Кроме того, для совместного решения уравнений (6)-(8) нужен итерационный процесс. Поэтому был разработан модифицированный метод конечных разностей (ММКР) для совместного решения уравнений (6)-(8) при обеспечении абсолютной устойчивости вычислительного процесса.

Использован подход, описанный в [4], когда комплекс, включающий члены со вторыми и первыми производными, аппроксимируется как единое целое по трехточечной схеме (11) согласно рис. 4.



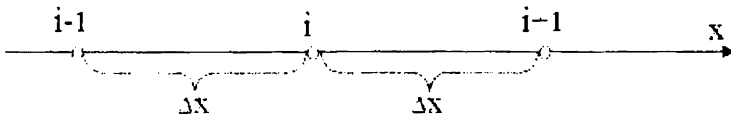


Рис. 4. Схема размещения узлов сетки

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - D \cdot \frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{(A_1 \cdot f_{i-1} + A_2 \cdot f_i + A_3 \cdot f_{i+1})}{\Delta x^2}. \quad (11)$$

где  $A_1 = \frac{D \cdot \Delta x \cdot (C_2 - C_1)}{C_3}, \quad A_2 = -\frac{D \cdot \Delta x \cdot C_2}{C_3}, \quad A_3 = \frac{D \cdot \Delta x \cdot C_1}{C_3},$

$$C_1 = \exp(D \cdot \Delta x) - 1, \quad C_2 = \exp(2 \cdot D \cdot \Delta x) - 1, \quad C_3 = C_2 - 2C_1,$$

$\Delta x$  – шаг сетки.

Величина  $D$  может быть функцией решения. Тогда ее значение уточняется итерационным методом (локальные итерации). Расчетные зависимости для коэффициентов  $A_1, A_2, A_3$  можно получить из аналитического решения уравнения вида (12) при постоянном значении правой части на отрезке оси ограниченном узлами сетки с индексами  $i-1$  и  $i+1$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - D \cdot \frac{\partial f}{\partial x} = \text{const} \cdot \quad (12)$$

Одновременно можно из аналитического решения (12) получить аналогичную аппроксимирующую зависимость для первой производной (13), что важно при аппроксимации уравнения неразрывности (13)

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx B_1 \cdot f_{i-1} + B_2 \cdot f_i + B_3 \cdot f_{i+1}, \quad (13)$$

где  $B_1 = \frac{D \cdot \Delta x \cdot (C_1 + 1) - C_2 + C_1}{C_2 - 2C_1}, \quad B_2 = \frac{C_2 - 2 \cdot D \cdot \Delta x \cdot (C_1 + 1)}{C_2 - 2C_1}, \quad B_3 = \frac{D \cdot \Delta x \cdot (C_1 + 1) - C_1}{C_2 - 2C_1},$

$$C_1 = \exp(D \cdot \Delta x) - 1, \quad C_2 = \exp(2 \cdot D \cdot \Delta x) - 1, \quad C_3 = C_2 - 2C_1.$$

$\Delta x$  – шаг сетки.

Зависимость значений коэффициентов  $A_1-A_3$  от параметра  $D\Delta x$  представлена на рис. 5.

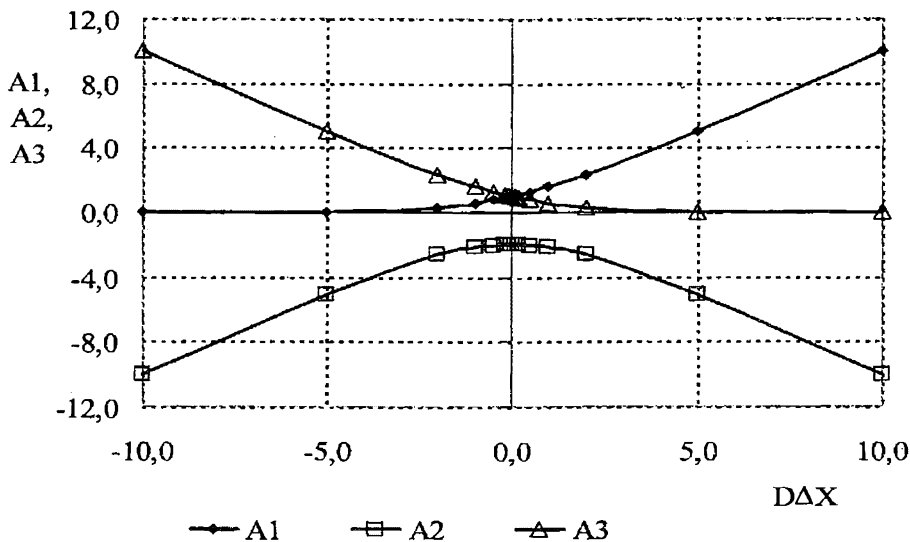


Рис. 5. Зависимость коэффициентов  $A1-A3$  от параметра  $D\Delta x$

Зависимость значений коэффициентов  $B1-B3$  от параметра  $D\Delta x$  представлена на рис. 6.

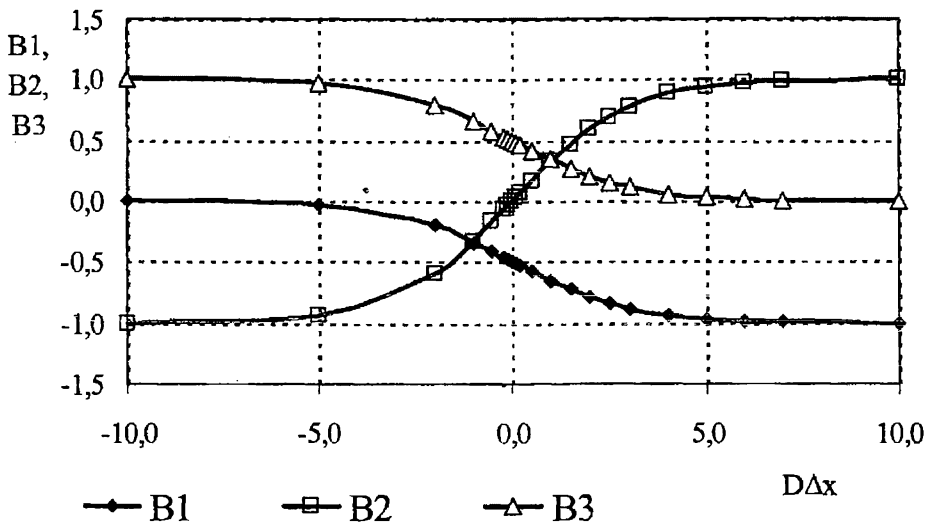


Рис. 6. Зависимость коэффициентов  $B1-B3$  от параметра  $D\Delta x$

Индексация узлов расчетной сетки для исследования процессов переноса в сухом канале сложного профиля приведена на рис. 7.

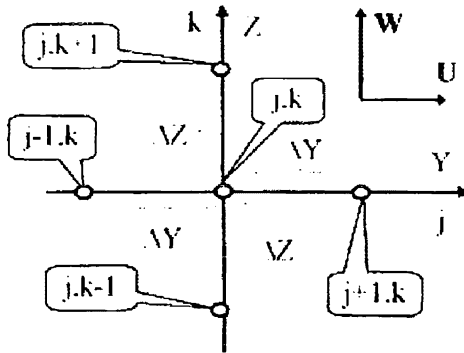


Рис. 7. Схема индексации узлов сетки

Используя приведенные схемы аппроксимации (11), (13) систему уравнений (6)-(8) можно представить в виде (19)-(15). Индексы при коэффициентах  $A_1-A_3$ ,  $B_1-B_3$  отражают компоненту вектора скорости ( $u, w$ ) и координатную ось ( $y, z$ ). Первая производная по времени отражается неявной схемой.

Уравнение неразрывности (6) приводится к виду (14)

$$U_{j,k} \cdot a_1 + W_{j,k} \cdot b_1 = c_1, \quad (14)$$

где

$$a_1 = \frac{B_{2uy}}{\Delta Y}, \quad b_1 = \frac{B_{2wz}}{\Delta Z},$$

$$c_1 = -\frac{1}{\Delta Y} \cdot (B_{1uy} \cdot U_{j-1,k} + B_{3uy} \cdot U_{j+1,k}) - \frac{1}{\Delta Z} \cdot (B_{1wz} \cdot W_{j,k-1} + B_{3wz} \cdot W_{j,k+1}).$$

Уравнение (7) приводится к виду (15), (16)

$$\left( \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} - D_u \cdot \frac{\partial U}{\partial Y} \right) + \left( \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} - D_w \cdot \frac{\partial U}{\partial Z} \right) = \frac{1}{v \cdot \rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial U}{\partial \tau}, \quad (15)$$

где  $D_u = U/v$ ;  $D_w = W/v$ .

В компактном виде (16)

$$U_{j,k} \cdot a_2 + W_{j,k} \cdot b_2 = c_2, \quad (16)$$

где  $a_2 = \frac{A_{2uy}}{(\Delta Y)^2} + \frac{A_{2wz}}{(\Delta Z)^2} / -\frac{1}{v \cdot \Delta \tau}$ ,  $b_2 = 0$ .

$$c_2 = \frac{A_{1uy} \cdot U_{j-1,k} + A_{3uy} \cdot U_{j+1,k}}{(\Delta Y)^2} - \frac{A_{1uz} \cdot U_{j,k-1} + A_{3uz} \cdot U_{j,k+1}}{(\Delta Z)^2} + \frac{P_{j+1,k} - P_{j-1,k}}{2 \cdot v \cdot \rho \cdot \Delta Y} - \frac{U_{j,k}^*}{v \cdot \Delta \tau}.$$

Уравнение (8) приводится к виду (17), (18)

$$\left( \frac{\partial^2 W}{\partial Y^2} - D_v \cdot \frac{\partial W}{\partial Y} \right) + \left( \frac{\partial^2 W}{\partial Z^2} - D_w \cdot \frac{\partial W}{\partial Z} \right) = \frac{1}{v \cdot \rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial Z} - \frac{1}{v} \cdot \frac{\partial W}{\partial \tau}. \quad (17)$$

В компактном виде (18)

$$U_{j,k} \cdot a_3 + W_{j,k} \cdot b_3 = c_3, \quad (18)$$

где

$$a_3 = 0, \quad b_3 = \frac{A_{2uy}}{(\Delta Y)^2} + \frac{A_{2uz}}{(\Delta Z)^2} - \frac{1}{v \cdot \Delta \tau},$$

$$c_3 = \frac{A_{1uy} \cdot W_{j-1,k} + A_{3uy} \cdot W_{j+1,k}}{(\Delta Y)^2} - \frac{A_{1uz} \cdot W_{j,k-1} + A_{3uz} \cdot W_{j,k+1}}{(\Delta Z)^2} + \frac{P_{j,k+1} - P_{j,k-1}}{2 \cdot v \cdot \rho \cdot \Delta Z} - \frac{W_{j,k}^*}{v \cdot \Delta \tau}.$$

Уравнение (9) с использованием трехточечной разностной схемы приводится к расчетной формуле (19)

$$P_{j,k} = \frac{\Delta Z^2 \cdot (P_{j-1,k} + P_{j+1,k})}{2 \cdot (\Delta Z^2 + \Delta Y^2)} + \frac{\Delta Y^2 \cdot (P_{j,k-1} + P_{j,k+1})}{2 \cdot (\Delta Z^2 + \Delta Y^2)} + \frac{\rho \cdot \Delta Z \cdot \Delta Y}{4 \cdot (\Delta Z^2 + \Delta Y^2)} \cdot (U_{j,k+1} - U_{j,k-1}) \cdot (W_{j+1,k} - W_{j-1,k}) - \frac{\rho \cdot \Delta Z \cdot \Delta Y}{4 \cdot (\Delta Z^2 + \Delta Y^2)} \cdot (W_{j,k+1} - W_{j,k-1}) \cdot (U_{j+1,k} - U_{j-1,k}). \quad (19)$$

При моделировании полей компонентов скорости  $W$ ,  $U$  необходимо решить переопределенную систему уравнений (14), (16), (18). Минимизируя функционал  $\delta$  (20) согласно (21) получим систему уравнений (22), (23)

$$\delta = (U_{j,k} \cdot a_1 + W_{j,k} \cdot b_1 - c_1)^2 + (U_{j,k} \cdot a_2 + W_{j,k} \cdot b_2 - c_2)^2 + (U_{j,k} \cdot a_3 + W_{j,k} \cdot b_3 - c_3)^2. \quad (20)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial U_{j,k}} = 0, \quad \frac{\partial \delta}{\partial W_{j,k}} = 0. \quad (21)$$

$$U_{j,k} \cdot d_1 + W_{j,k} \cdot f_1 = m_1, \quad (22)$$

$$U_{j,k} \cdot f_1 + W_{j,k} \cdot d_1 = m_2. \quad (23)$$

где с учетом  $b_2=0$  и  $a_3=0$

$$d_1 = a_1^2 + a_2^2, \quad f_1 = a_1 \cdot b_1,$$

$$m_1 = a_1 \cdot c_1 + a_2 \cdot c_2, \quad m_2 = b_1 \cdot c_1 + b_3 \cdot c_3.$$

При моделировании полей давления и скорости требуется согласованное решение уравнений (22), (23), (19).

Алгоритм моделирования заключается в задании в первом приближении значений  $P, \bar{W}, U$ . Затем моделируется выход на установившийся режим течения путем итерационной сшивки решений (22), (23) и (19) при уточнении значений  $d_1, f_1, m_1, m_2$  на каждой итерации.

В дальнейшем для моделирования полей температуры уравнение (10) приводится к виду (24).

$$\left( \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} - D_{Ty} \cdot \frac{\partial T}{\partial Y} \right) + \left( \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} - D_{Tz} \cdot \frac{\partial T}{\partial Z} \right) = D_{T\tau} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (24)$$

где

$$D_{Ty} = \frac{c_p \cdot \rho \cdot U}{\lambda}, \quad D_{Tz} = \frac{c_p \cdot \rho \cdot W}{\lambda}, \quad D_{T\tau} = \frac{c_p \cdot \rho}{\lambda}.$$

При аппроксимации левой части уравнения (24) используются зависимости вида (11). Аппроксимация правой части (24) проводится по неявной разностной схеме. Расчетная формула имеет вид (25)

$$T_{j,k} = \frac{\left( (A_{1ty} \cdot T_{j-1,k} + A_{3ty} \cdot T_{j+1,k}) / (\Delta Y)^2 + (A_{1tz} \cdot T_{j,k-1} + A_{3tz} \cdot T_{j,k+1}) / (\Delta Z)^2 - D_{T\tau} \cdot T_{j,k}^{n-1} \right)}{\left( A_{2ty} / (\Delta Y)^2 + A_{2tz} / (\Delta Z)^2 - D_{T\tau} / \Delta \tau \right)}, \quad (25)$$

где  $\Delta Y, \Delta Z, \Delta \tau$  – соответственно шаги по осям  $Y, Z$  и во времени.

Полученные поля температуры позволяют определить изменение значений коэффициентов теплообмена по длине канала. Для каждого сечения канала значения температуры на стенках канала  $T_S$  принимались одинаковыми.

Рассчитывалось изменение средней температуры воздуха  $T_{d_j}$  по сечениям канала (26)

$$T_{d_j} = \left( \sum_{k=1}^{k_{\max}} T_{j,k} \cdot \Delta Z \right) / \left( \sum_{k=1}^{k_{\max}} \Delta Z \right). \quad (26)$$

В связи со сложной периодической формой стенок канала (рис. 3) проводилось сглаживание изменения средней температуры воздуха по координате  $Y$  с использованием метода [6]. При этом автоматически рассчитывались сглаженные значения производной  $dT_d/dY$ .

Расчет значений коэффициентов теплообмена  $\alpha_d$  для каждого сечения канала с индексом  $j$  проводился по зависимости (27)

$$\alpha_{d_j} = \frac{\delta_d \cdot v_d \cdot C p_d \cdot \rho_d}{2 \cdot (T_{s_j} - T_{d_j})} \cdot \left( \frac{dT_d}{dY} \right)_j. \quad (27)$$

Полученные зависимости  $Nu=f(Y/\delta)$  для некоторых режимов течения приведены на рис. 8.

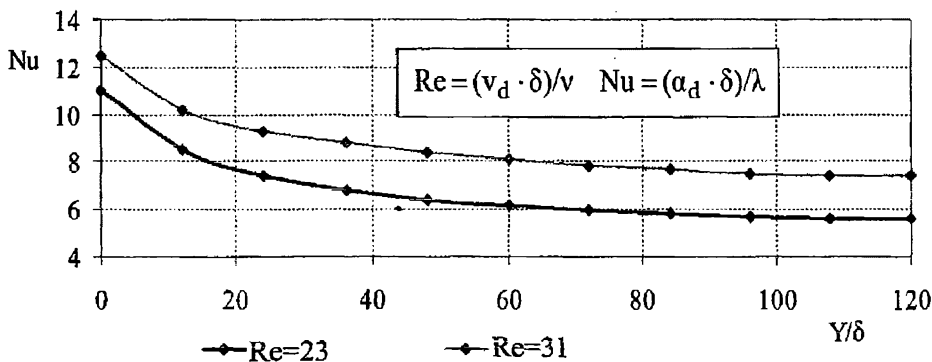


Рис. 8. Зависимость  $Nu=f(Y/\delta)$

В первом приближении значения коэффициентов теплообмена в каналах принималось по рекомендациям [3]. При дальнейшем итерационном уточнении результатов моделирования зависимость коэффициентов теплообмена от параметров процесса в расчетных каналах сложного профиля уточнялась с использованием методов, описанных выше и в [22], [23]. При этом учитывалось изменение величин коэффициентов обмена по направлению движения воздуха.

**Результаты моделирования охладителя воздуха для рабочих зон.** Результаты математического и натурального моделирования процессов в охладителе воздуха, ориентированного на охлаждение рабочих зон, приведены на рис. 9. Линиями отражены результаты математического моделирования. Там же маркерами отмечены результаты натурального эксперимента.

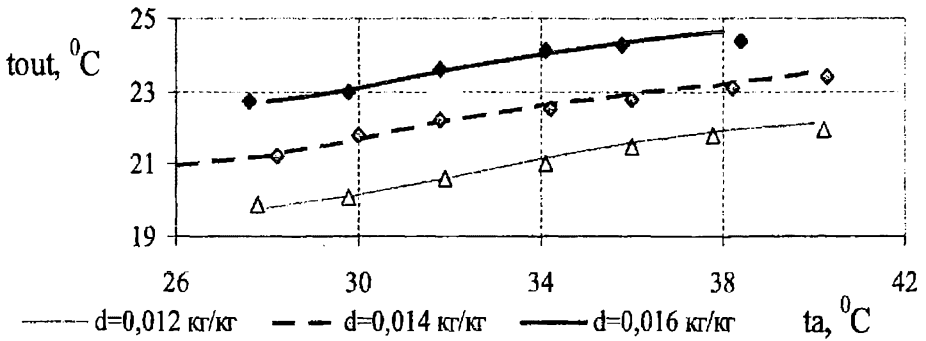


Рис. 9. Результаты математического и натурального моделирования:  
 $t_a$  – температура наружного воздуха;  
 $t_{out}$  – температура охлажденного воздуха

Сравнение результатов вычислительного и натурального экспериментов показало высокую достоверность информации, получаемой при проведении вычислительного эксперимента.

**Выводы и рекомендации.** Разработанные методы математического моделирования успешно применялись для исследования процессов в установках косвенного испарительного охлаждения других типов [6].

Математическое моделирование позволяет получать достоверную информацию о процессах, протекающих в установках испарительного охлаждения воздуха, где происходит совокупность взаимосвязанных процессов переноса массы, импульса и концентрации. Поэтому методика компьютерного моделирования может быть использована для моделирования тепло-массообменников различного типа.

Предложенная комбинированная схема потоков воздуха (рис. 1) в охладителе показала свою эффективность и может использоваться в установках для охлаждения воздуха в локальных рабочих зонах. Вариант возможной установки показан на рис. 10.

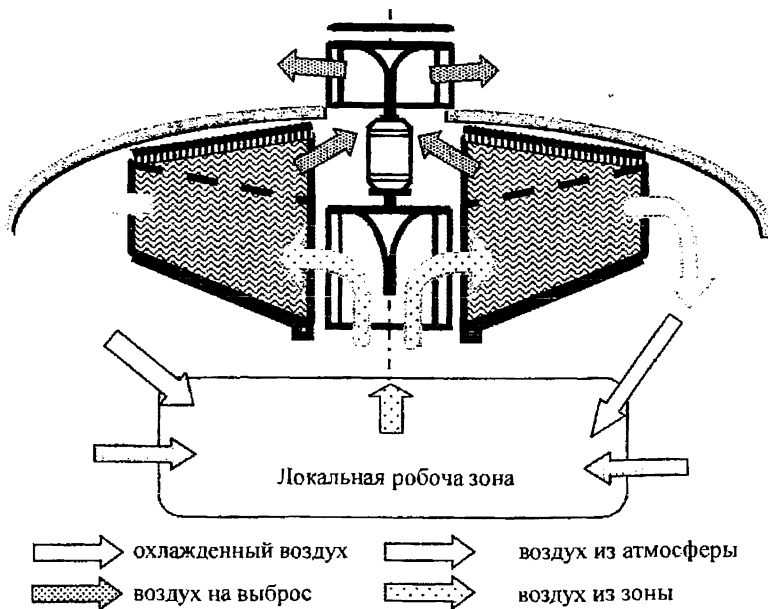


Рис. 10. Схема охлаждения рабочей зоны

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Челабчі В.М. Чисельні методи: Навч. посібник / І.А. Тузова, В.В. Челабчі, В.М. Челабчі. – Одеса: ОНМУ, 2012. – 39 с.
2. Воронец Д.В. Влажный воздух. Термодинамические свойства и применение [Текст] / Д.В. Воронец, Д.Е.Козин. – М.: Энергоиздат, 1984. – 135 с.
3. Справочник по теплообменникам: В 2т. Т.1 [Текст] / Пер.с англ., под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шишкова. –М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.
4. Patankar S.V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow McGraw-Hill S.V. Patankar [Text]. – Hemisphere Publishing Corporation. – 1980. – 197 p.
5. Челабчи В.В. Численное моделирование течений в каналах [Текст] / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // *Materialy VI Międzynarodowej naukowowi-praktycznej konferencji «Stosowane naukowe opracowania – 2010».* – Przenysil: Nauka i studia, 2010. – Vol. 8. – С. 17-22.
6. Chelabchi V.V. Smoothing out of experimental dependences [Text] / V.V. Chelabchi, V.N. Chelabchi // *Сб. научн. трудов Sword.* – Иваново: МАРКОВА АД, 2013. – Вып. 4. – Т. 5. – С. 47-51.



7. Челабчі В.В. Орієнтація проекту «Повітроохолоджувачі непрямого витарного типу» [Текст] / С.В. Руденко, В.В. Челабчі // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2016. – № 2 (48).

*Стаття надійшла до редакції 25.04.2017*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор кафедри Інформатики Одеського державного екологічного університету **І.О. Чмирь**

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **Л.С. Вітюк**

УДК 556.532:502.7

А.П. Блажко

### ЕКОЛОГО-ІРИГАЦІЙНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД В БАСЕЙНІ РІЧКИ МАЛИЙ КУЯЛЬНИК

*У статті викладено результати еколого-іригаційного оцінювання стану поверхневих вод в басейні р. Малий Куяльник за 2010-2015 рр. за різними методиками. Розрахунками встановлено, що домінуюче положення займають проби води, які належать до III і IV класів, 5-6 категорій якості води, що класифікує їх як перехідні поміж «задовільні – погані» води за якістю та «помірно забруднені – брудні» за ступенем чистоти. Визначено, що найбільш високі рівні забруднення води р. Малий Куяльник спостерігались за показниками мінералізації, іонів магнію, сульфатів, амонійного азоту, СПАР, БСК<sub>5</sub> та ХСК, що унеможливує всяке водокористування без попереднього поліпшення складу води.*

**Ключові слова:** *якість води, коефіцієнт забруднення, клас якості води.*

*В статтє изложєны результати еколого-ирригационного оцєнивания состояния поверхностных вод в бассейне р. Малий Куяльник за 2010-2015 гг. по разным методикам. Расчетами установлено, что преобладающее положение занимают пробы воды, которые соответствуют III и IV классам, 5-6 категориям качества воды, что классифицирует их как переходные между «удовлетворительные – плохие» воды по качеству и «умеренно загрязненные – грязные» по степени чистоты. Определено, что наиболее высокие уровни загрязнения воды р. Малий Куяльник наблюдались по показателям минерализации, ионам магния, сульфатов, аммонийного азота, СПАВ, БПК и ХПК, что ограничивает любой вид водопользования без предварительного улучшения состава воды.*

**Ключевые слова:** *качество воды, коэффициент загрязнения, класс качества воды.*

*In the article has been presented the results of the ecologically irrigational assessment of surface water quality in the water basin of the Small Kujalnik river in 2010-2015 by various principles. A comprehensive assessment of the quality of surface water has been conducted based on the determination of contamination factors of water on a source of indicators, assessment of the compliance of water quality indicators against maximum permissible concentrations, on salt composition criteria, ecologically sanitary indicators and the content of specific substances of toxic action and also irrigational assessment of water quality by agronomic criteria. It has been established that the supremacy occupy water specimen which correspond to the III and IV classes, 5-6 categories of water quality, which classifies them as transitional*

*between «satisfactory – bad» waters in quality and «contaminated – dirty» in terms of purity, and on trophicity – from «eutrophic» to «polytrophic», the saprobe area – «mesosaprobic». It has been determined that the highest levels of exceeding the maximum allowable concentrations in river water were observed in terms of mineralization, magnesium ions, BOD, COD (for household water use). On the content of ions of sulfates, magnesium, ammonium nitrogen, surfactants and petroleum products (for fishery water management); on mineralization, the content of magnesium ions, sulfates, ammonium nitrogen, BOD, and COD (for drinking water use). It has been established that environmental waters in the water basin of the Small Kujalnik river «are restrictedly available» and «unsuitable» for irrigation on the danger of irrigation salinity, alkalization, salinization of soils and toxic effects on plants.*

*The results of the research indicate that the processes of formation of surface water quality exert influence on the high level of urbanization of researched area, which contributes to the contamination of surface waters by domestic and industrial insufficiently (unclean) sewage disposal, dispatching into body of water biogenic elements and organic substances, create a constant threat of water quality impairment. A number of measures were proposed to improve the quality of surface waters in the water basin of the Small Kujalnik river.*

**Keywords:** *water quality, contamination factor, degree of water quality.*

**Вступ.** Малі водотоки і річки формують водні ресурси, гідрохімічний склад та якість води середніх і великих річок, є складовими природних ландшафтів, сприяють господарській діяльності населення. Не стільки кількість водних ресурсів, скільки їх якість в сучасних умовах обмежує їх використання. Внаслідок постійно зростаючого промислового і побутового забруднення, розорювання та гідротехнічної меліорації водозборів і заплав, знищення лісів у долинах рік велика кількість водотоків і малих річок сьогодні знаходиться на різних стадіях деградації. У зв'язку з тим, що родючість зрошуваних ґрунтів в значній мірі залежить від якості зрошувальної води, однією із вимог до джерела зрошення є постійно діючий еколого-іригаційний моніторинг вод [1].

**Мета дослідження, постановка задачі.** Метою роботи є проведення еколого-іригаційного оцінювання якості поверхневих вод в басейні річки Малий Куяльник (М. Куяльник).

**Об'єкт і методи дослідження.** Об'єктом дослідження служать поверхневі води в басейні р. М. Куяльник, яка бере початок на північ від села Бірносове Фрунзівського району. Тече переважно на південний схід по території Фрунзівського, Ширяївського, Великомихайлівського та Іванівського районів Одеської області, впадає до Хаджибейського лиману на південний схід від села Білки Іванівського району. Довжина річки 89 км, площа водозбірного басейну 1540 км<sup>2</sup>. Долина коритоподібна, з крутими схилами, розчленованими ярами; її ширина 1,5-3,0 км. Заплава

завширшки до 1,3 км, річище помірно звивисте, влітку часто пересихає. Середній багаторічний річний стік р. М. Куяльник – 17,1 млн м<sup>3</sup>/рік, а в маловодні роки (75 % та 95 % забезпеченості) – 4,9 і 0,9 млн м<sup>3</sup>/рік відповідно. В геологічному відношенні значну роль відіграють понтичні вапняки [2; 3].

В роботі використано результати гідрохімічних досліджень поверхневих вод в басейні р. М. Куяльник на контрольному посту біля с. Бараново Іванівського району Одеської області за 2010-2015 рр., які були надані Департаментом екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації [4]. Проби води відбирались щоквартально чотири рази на рік. Згідно вимогам [5] лабораторією гідроекологічного моніторингу визначалися такі показники: рівень рН, лужність, вміст гідрокарбонатів, сульфатів, хлоридів, кальцію, магнію, натрію, калію, мінералізація, завислі речовини, іони амонію, вміст нітратів, нітритів, фосфатів, БСК<sub>5</sub>, концентрація загального заліза, міді, хрому, алюмінію, СПАР, нафтопродукти, концентрація специфічних речовин токсичної дії та ін.

**Аналіз наукових досліджень і літератури.** Провівши огляд наукових публікацій за темою дослідження, з'ясовано, що гідроекологічна вивченість стану поверхневих вод в басейні р. М. Куяльник є недостатньою. Дослідження науковців були зосереджені на існуючій проблемі щодо вирішення екологічних аспектів з'єднання Хаджибейського лиману, куди впадає р. М. Куяльник, з Чорним морем. Впродовж 2008-2012 рр. вчені Одеського державного екологічного університету Є.Д. Гопченко, Н.С. Лобода, Ю.С. Тучковенко, О.М. Гриб, К.О. Гриб, Ж.Р. Шакірманова, О.М. Килимник, Я.С. Яров, В.П. Зизак, А.М. Скачек проводили певні експедиційні водно-балансові дослідження на Хаджибейському лимані та його Паліївської протоки, які лягли в основу під час моделювання водно-сольових балансів зазначеної водойми. Результати досліджень опубліковано в наукових виданнях [6; 7; 8]. З огляду на вищевикладене, дослідження сучасного гідрохімічного режиму та еколого-іригаційне оцінювання якості поверхневих вод в басейні р. М. Куяльник, підтверджує актуальність вибраної теми дослідження.

**Результати досліджень.** Для досягнення мети роботи реалізовано наступні завдання: 1) виконано оцінювання відповідності показників якості поверхневих вод р. М. Куяльник нормативним вимогам ГДК; 2) проведено комплексне оцінювання якості поверхневих вод на основі визначення коефіцієнтів забрудненості; 3) виконано екологічне оцінювання якості поверхневих вод за відповідними категоріями; 4) проведено іригаційне оцінювання якості річкової води за агрономічними критеріями.

**Оцінювання відповідності показників якості води р. М. Куяльник нормативним вимогам.** В роботі використані нормативи якості води для водойм господарсько-побутового, рибогосподарського та питного водокористування [9-11].

Аналіз осереднених середньорічних та максимальних (найгірших) гідрохімічних показників моніторингових спостережень за 2010-2015 рр. показав, що відхилення від норми (кратність перевищення ГДК) є за такими показниками (табл. 1).

*Таблиця 1*

*Результат аналізу придатності води р. М. Куяльник  
для різних видів водокористування  
за середньоарифметичними значеннями 2010-2015 рр.*

Показники якості річкової води	Вміст інгредієнтів у воді		Кратність перевищення ГДК* гп		Кратність перевищення ГДК** рг		Кратність перевищення ГДК*** пв	
	$C_{сер.}$	$C_{макс.}$	сер.	макс.	сер.	макс.	сер.	макс.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	1485	2076	1,5	2,1	-	-	1,5	2,1
Сульфатні іони, мг/дм <sup>3</sup>	430	673	0,9	1,4	4,3	6,7	1,7	2,7
Іони магнію, мг/ дм <sup>3</sup>	132	199	2,6	4,0	3,3	5,0	1,7	2,5
Азот амонію, мг/ дм <sup>3</sup>	0,52	1,02	0,4	0,7	1,3	2,6	1,0	2,0
Залізо, мг/дм <sup>3</sup>	0,25	0,38	0,8	1,3	2,5	3,8	-	-
СПАР, мг/дм <sup>3</sup>	0,39	0,42	-	-	2,0	2,1	-	-
Нафтопродукти мг/дм <sup>3</sup>	0,12	0,37	0,4	1,2	2,4	7,4	-	-
БСК <sub>5</sub> , мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	11,2	28,9	3,7	9,6	-	-	2,8	7,2
ХСК, мг O/ м <sup>3</sup>	47,5	60,5	3,2	4,0	-	-	9,5	12,1

*Примітки до таблиці 1:*

1) ГДК\* гп, ГДК\*\* рг, ГДК\*\*\* пв – гранично допустима концентрація для водійм господарсько-побутового, рибогосподарського та питного водокористування.

2) «-» Нормативи відсутні [9; 10; 11].

Аналіз табличного матеріалу свідчить про те, що найбільш високі рівні перевищення гранично допустимих концентрацій у воді р. М. Куяльник спостерігались за показниками мінералізації, іонів магнію, БСК<sub>5</sub>, ХСК (для господарсько-побутового водокористування); за вмістом іонів сульфатів, магнію, амонійного азоту, СПАР та нафтопродуктів (для рибогосподарського водокористування); за показниками мінералізації, іонів магнію та сульфатів, амонійного азоту, БСК<sub>5</sub>, ХСК (для питного водокористування).

**Комплексне оцінювання якості поверхневих вод на основі визначення коефіцієнта забрудненості.** Коефіцієнт забрудненості (КЗ) визначається за допомогою методики розрахунку коефіцієнта забрудненості [12]. Оскільки гідрохімічні спостереження проводились лише в одному контрольному створі р. М. Куяльник, то використано дещо спрощену формулу визначення КЗ, а саме

$$KЗ = \sum_{i=10}^{10} \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N_i} X_{in} \right); \quad (1)$$

$$X_{in} = \text{якщо } C_{in} > ГДК_i \Rightarrow \frac{C_{in}}{ГДК_i};$$

$$X_{in} = \text{якщо } C_{in} \leq ГДК_i \Rightarrow 1,$$

де  $i$  – порядковий номер показника;

$N_i$  – загальна кількість вимірювань  $i$ -го показника;

$X_{in}$  – кратність перевищення ГДК в разі  $n$ -го вимірювання  $i$ -го показника;

$C_i$  – фактична концентрація  $i$ -ої величини у воді;

ГДК – граничнодопустима концентрація  $i$ -ої речовини у воді.

Згідно [12] екологічний стан води за рівнями забрудненості оцінюється як: незабруднена (чиста) вода (КЗ  $\leq 1,0$ ); слабо забруднена (КЗ 1,01-2,50); помірно забруднена (КЗ 2,51-5,00); брудна (КЗ 5,01-10,0); дуже брудна (КЗ більше 10).

Протягом усього часу спостережень КЗ за середніми значеннями варіював у межах 1,95-2,90, тобто вода оцінювалась від «слабо забрудненої» до «помірно забрудненої». За максимальними значеннями КЗ змінювався в межах 2,59-7,25, що дозволяє оцінити поверхневі води р. М. Куяльник за рівнями забрудненості як «помірно забруднені» – «брудні» (табл. 2).

*Розрахункові значення коефіцієнтів забрудненості води  
р. М. Куяльник за 2010-2015 рр.*

Показники	Значення коефіцієнтів забруднення за роками дослідження					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
За середніми значеннями	2,18	1,95	2,66	2,90	2,42	2,20
За максимальними значеннями	3,00	2,59	4,22	7,25	6,69	5,56

**Екологічне оцінювання якості поверхневих вод за відповідними категоріями.** Виконання екологічного оцінювання проводилось згідно з «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [13]. Зазначена методика передбачає обов'язкове включення трьох блоків показників: блок сольового складу, блок сапробіологічних (еколого-санітарних) показників та блок специфічних речовин токсичної дії.

Для оцінки екологічного стану поверхневих вод р. М. Куяльник розраховувались інтегральні (екологічні) індекси якості води ( $I_{E_{ср.}}$ ;  $I_{E_{макс.}}$ ) за середніми та максимальними показниками якості води за формулами (2), (3)

$$I_{E_{ср.}} = (I_{1ср.} + I_{2ср.} + I_{3ср.})/3, \quad (2)$$

$$I_{E_{макс.}} = (I_{1макс.} + I_{2макс.} + I_{3макс.})/3, \quad (3)$$

де  $I_{1ср.}, I_{1макс.}$  – індекси забруднення компонентами сольового складу за осередненими та максимальними значеннями показників;

$I_{2ср.}, I_{2макс.}$  – індекси трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників;

$I_{3ср.}, I_{3макс.}$  – індекси специфічних показників токсичної дії.

Аналіз розрахункового матеріалу свідчить про наступне. Середні величини індексів якості сольового блоку знаходились у межах  $1,33 \leq I_{1ср.} \leq 2,33$ , що відповідає I і II класу якості, а води оцінюються як «відмінні» і «добрі» за станом, «дуже чисті» і «чисті» за ступенем їх чистоти. Максимальні значення індексів змінювались в межах  $2,33 \leq I_{1макс.} \leq 4,33$ , тобто води відносились до II і III класу якості та оцінювались як «добрі» і «задовільні» за станом та «чисті» і «слабко забруднені» за ступенем чистоти.

За трофо-сапробіологічними критеріями ( $I_{2сер.}$ ) в досліджуваному періоді не виходили за межі  $3,70 \leq I_{2сер.} \leq 4,30$ , що відповідає III класу, 4 категорії якості вод та характеризує їх як «задовільні» за станом, «слабко забруднені» за ступенем чистоти. За трофністю (переважаючий тип) води евтрофні, зона сапробності  $\beta$  – мезосапробні. Значення  $I_{2макс.}$  знаходились у межах  $4,70 \leq I_{2макс.} \leq 6,0$ , що відповідає III і IV класам, 5 і 6 категорії якості води, тобто води перехідні поміж «задовільні – погані» за якістю та «помірно забруднені – брудні» за ступенем чистоти, а за трофністю – від ев-політрофних до політрофних, зона сапробності  $\alpha$  – мезосапробні.

Такі високі значення розрахункових блокових індексів отримано за рахунок наявності у воді значних концентрацій сполук азоту та фосфору, а саме: ( $NH_4^+$  – 0,62-1,80 мг N/дм<sup>3</sup>, 5 і 6 категорії;  $PO_4^{3-}$  – 0,14-0,44 мг P/дм<sup>3</sup>, 5 і 7 категорії якості води). Збільшення фосфатів у водних об'єктах служить наслідком застосування миючих засобів, що в свою чергу викликає інтенсивний розвиток водної рослинності, цвітіння води, зменшення кількості кисню у водній масі. Присутність забруднення води р. М. Куяльник органічними речовинами від комунальних підприємств підтверджується високими показниками БСК<sub>5</sub> за оцінкою яких води відповідали 5 і 7 категоріям якості. Показники ХСК протягом усього досліджуваного періоду були також високими і змінювалися у межах 69,9-84,6 мг O/дм<sup>3</sup>, що відповідає 7 категорії якості води.

Оцінити якість поверхневих вод р. М. Куяльник за вмістом специфічних речовин токсичної дії важко у зв'язку з обмеженістю аналітичної інформації (із 15 показників якості води, які наведено в [11], лабораторією екомоніторингу визначалися тільки 3, а саме: залізо, нафтопродукти та СПАР). Загалом за показниками блоку специфічних речовин токсичної дії води р. М. Куяльник як за середніми, так і за найгіршими значеннями показників відповідають III класу, 5 категорії якості (в 2012 р. – IV клас, 6 категорія якості). Такі води оцінюються як «задовільні» за станом та «помірно забруднені» води за ступенем чистоти.

Розрахунки об'єднаної екологічної оцінки якості поверхневих вод показали, що величини інтегральних індексів знаходились у межах ( $2,92 \leq I_{Есер.} \leq 3,57$ ), що характеризує води за станом II-III класом якості як перехідний від «доброго» до «задовільного», а за ступенем чистоти «чисті – забруднені» води. Інтегральний індекс якості води за найгіршими значеннями варіював у межах величин ( $4,01 \leq I_{Емакс.} \leq 5,15$ ), що характеризує води III класом якості, тобто води «задовільні» за якістю та «забруднені» за ступенем чистоти.



**Іригаційне оцінювання якості води р. М. Куяльник за агрономічними критеріями.** За агрономічними критеріями визначають якість води для зрошення за її впливом на ґрунти, для збереження і підвищення родючості, а також запобігання процесам засолення, осолонцювання і підлуження ґрунтів [15]. Під час оцінювання якості води виділяють три класи її придатності для зрошення: I клас – «Придатна», II клас – «Обмежено придатна», III клас – «Непридатна».

Зрошувальна вода I класу – придатна для зрошення без обмежень. Зрошувальну воду II класу використовують за умови обов'язкового застосування комплексу заходів щодо запобігання деградації ґрунтів. Зрошувальна вода III класу – непридатна для зрошення без попереднього поліпшення її складу. Результати оцінювання якості води річки М. Куяльник за агрономічними критеріями наведено в таблиці 3.

*Таблиця 3*

*Результати оцінювання якості води р. М. Куяльник за агрономічними критеріями за 2010-2015 рр.*

Нормування показників якості води	Клас придатності води для зрошення за роками дослідження					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
За небезпекою іригаційного засолення ґрунту	III клас непридатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна
За небезпекою підлуження ґрунту	III клас непридатна	III клас непридатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна
За небезпекою осолонцювання ґрунту	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	III клас непридатна	III клас непридатна
За небезпекою токсичного впливу на рослини	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна	II клас обмежено придатна

Аналіз табличного матеріалу свідчить про те, що впродовж досліджуваного періоду вода р. М. Куяльник за агрономічними критеріями оцінюється II і III класом придатності її для зрошення, згідно [15] така вода «обмежено придатна» та «непридатна» для зрошення і може викликати іригаційне засолення, підлуження, осолонцювання ґрунтів та справляти токсичний вплив на рослини.

**Висновки.** Дослідження показало, що домінуюче положення займають проби води р. М. Куяльник, які належать до III і IV класів, 5-6 категорій якості води, що класифікує їх як перехідні поміж «задовільні – погані» води за якістю та «помірно забруднені – брудні» за ступенем чистоти. Встановлено антропогенне забруднення води р. М. Куяльник за рахунок збагачення водою речовинами біогенного походження (особливо азотом і фосфором).

Поверхневі води в басейні р. М. Куяльник не можна рекомендувати для господарсько-побутового водокористування (за показниками мінералізації, іонів магнію, БСК<sub>5</sub>, ХСК); рибогосподарського водокористування (за показниками амонійного азоту, іонів сульфатів, магнію, вмістом СПАР та нафтопродуктів); питного водокористування (за мінералізацією, вмістом іонів магнію, сульфатів, амонійного азоту, показниками БСК<sub>5</sub>, ХСК).

Використовувати поверхневі води для зрошення можливо лише за умови обов'язкового застосування комплексу заходів щодо попередження деградації ґрунтів (внесення у поливну воду або ґрунт кальцієвих меліорантів, дотримання науково-обґрунтованих режимів зрошення, високий рівень агротехніки, дотримання сівозмін, тощо).

Екологічний стан водних ресурсів басейну р. М. Куяльник можливо поліпшити шляхом наступних заходів:

- реконструкція існуючих та будівництво нових очисних споруд;
- недопущення скиду неочищених стічних вод у р. М. Куяльник;
- приведення у належний санітарний стан прибережних захисних смуг;
- проведення робіт з розчищення та берегоукріплення р. М. Куяльник;
- виконання водокористувачами чинного водоохоронного законодавства.

Напружена екологічна ситуація у межах басейну р. М. Куяльник вказує на необхідність продовження гідрохімічного моніторингу поверхневих вод.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Яцык А.В. *Екологические основы рационального водопользования [Текст]: Учебн. пособие / А.В. Яцык. – К., 1997. – 640 с.*
2. *Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана [Текст] / Под ред. Г.И. Швевса, Ю.А. Амброз. – Киев-Одесса: Вища школа. Головное изд-во, 1979. – 144 с.*
3. Вишневський В.І. *Річки і водойми України. Стан і використання [Текст] / В.І. Вишневський. – К.: Наукова думка, 2000. – 376 с.*

4. Фондові матеріали Департаменту екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації [Текст] / Результати гідрохімічних досліджень стану поверхневих вод в водних об'єктах Одеської області в 2010-2015 рр. – 14 с.
5. Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод. Нормативний документ [Текст] / Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України № 485 від 24.12.2001 р. – К., 2001. – 42 с.
6. Гопченко С.Д. Зв'язок солоності та рівнів води Хаджибейського лиману й оцінка замулення водойми / С.Д. Гопченко, О.М. Гриб, К.О. Гриб // Екологічні проблеми Чорного моря: 36. матеріалів до Міжнар. наук.-практ. конф., 27-28 жовт., 2011. [Електронний ресурс]. – Одеса. – 2011. – С. 207. – Режим доступу: [liber.opi.edu.ua/orasipinicode](http://liber.opi.edu.ua/orasipinicode)
7. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції / Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення / [Електронний ресурс]. – Одеса: ОДЕКУ, 2012. – 160 с. – Режим доступу: [odeku.edu.ua/wp-content/uploads](http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads)
8. Екологічні проблеми Північно-Західного Причорномор'я: бібліографічний показник літератури за 2003-2011 рр. Вип. 1. Лимани. Глибоководний судовий хід (ГСХ) Дунай – Чорне море. [Текст] / М-во культури України, ОННБ ім. М. Горького; укладач Н.П. Лошкарьова; наук. ред. В.І. Михайлов; ред. Є.П. Андрющенко. – Одеса, 2012. – С. 31-54.
9. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. [Текст]: СанПиН №4630-88. – М.: Минздрав СССР, 1988. – 69 с.
10. Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов / [Электронный ресурс]. – М., 1995. – Режим доступу: <http://refdb.ru/look/3488628.html>
11. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). [Електронний ресурс]. ТОВ «ЛНГА ЗАКОН», 2007-2010. – Режим доступу: <http://bib.comvdocs.org/v3911>
12. Організація та здійснення спостережень за забрудненням поверхневих вод (в системі Мінекоресурсів). КНД 211.1.1.106-2003 [Текст]: Чинний від 1 жовтня 2003 р. – К.: Мінприроди, 2003 р. – 53 с.
13. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксюк та ін.]. – К.: Символ-Т, 1999. – 28 с.

14. Досвід використання «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» (пояснення, застереження, приклади) [Текст] / А.В. Яцик, В.М. Жукинський, А.П. Чернявська, І.С. Єзловецька. – К.: Оріяни, 2006. – 44 с.
15. Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії [Текст]: ДСТУ 2730:2015 – К.: ДП «УкрНДНЦ». 2016. – 10 с.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2017

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Водопостачання Одеської державної академії будівництва та архітектури  
**В.Й. Прогульний**

начальник Одеської гідрогеолого-меліоративної експедиції,  
«Почесний працівник Державного комітету України по водному господарству» **А.І. Кожушко**

УДК 627.51

Р.В. Синица, В.С. Осадчий

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАШЕНИЯ ВОЛН  
ОГРАДИТЕЛЬНЫМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ  
НЕПОЛНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ**

*В статье рассмотрены существующие методики определения параметров трансформации волн оградительными гидротехническими сооружениями (ОГТС) неполного вертикального профиля. На сегодняшний день в отечественных нормативных документах отсутствуют практические рекомендации, позволяющие в инженерной практике устанавливать значения высот волн прошедших через тело оградительного сооружения на защищаемую акваторию.*

*Проектирование и строительство новых конструкций ОГТС позволит повысить экономическую привлекательность создания новых морских портов, а также реконструкции существующих.*

**Ключевые слова:** параметры волн, трансформация волн, оградительное гидротехническое сооружение неполного профиля.

*У статті розглянуті існуючі методики визначення параметрів трансформації хвиль захисними гідротехнічними спорудженнями (ОГТС) неповного вертикального профілю. На сьогодні у вітчизняних нормативних документах відсутні практичні рекомендації, що дозволяють в інженерній практиці встановлювати значення висот хвиль що пройшли через тіло захисної споруди на акваторію, що захищалася.*

*Проектування і будівництво нових конструкцій ОГТС дозволить підвищити економічну привабливість створення нових морських портів, а також реконструкції існуючих.*

**Ключові слова:** параметри хвиль, трансформація хвиль, захисне гідротехнічне спорудження неповного профілю.

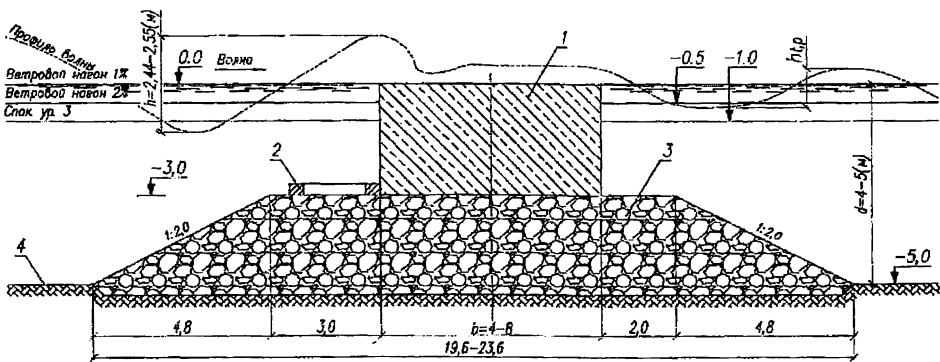
*The article considers the existing methods for determining the parameters of wave transformation by protective hydraulic structures (PHS) Incomplete vertical profile. To date, the domestic regulatory documents are lacking practical recommendations that allow in engineering practice to establish the values of the heights of waves passing through the body of the enclosure to the protected water area.*

*The design and construction of new PHS structures will increase the economic attractiveness of creating new seaports, as well as the reconstruction of existing.*

**Keywords:** parameters of waves, transformation of waves, protective hydraulic engineering structure of incomplete profile.

В практике строительства ограждающих гидротехнических сооружений (ОГТС) иногда применяются сооружения неполного вертикального профиля (см. рис. 1), через верхнее строение которых допускается перелив воды, с дальнейшей трансформацией волн (изменением их основных параметров). Такие сооружения в зависимости от условий их применения подвержены воздействию как стоячих, так и разбивающихся волн. В нормативных документах [1; 2; 3; 4; 5 и 6] отсутствуют практические рекомендации, позволяющие определять значения коэффициентов трансформации волн, сооружениями данного типа.

Основной задачей ОГТС является, обеспечение допустимых значений гидрометеорологических элементов, во время обслуживания судов, регламентированных рекомендациями [8]. Ветро-волновые условия на защищаемой акватории, определяются возможностью осуществлять швартовные операции, а также возможность обеспечения в момент контакта судна с отбойными устройствами нормальных составляющих скорости подхода. Величина которых устанавливается нормативами [1; 2; 3 и 4].



*Рис. 1. Поперечный разрез конструкции волнолома  
неполного вертикального профиля (ориг):*

- 1 – бетонный массив; 2 – берменный массив (щелевая плита);*
- 3 – каменная постель*

Высоту волны, обеспеченностью 5 % в системе штормов, установленную для выполнения швартовных операций, рекомендуется принимать  $\leq 1,2$  м, а для обеспечения стоянки судов, значение высот волн следует определять в соответствии с [8], в зависимости от направления действия волнения и водоизмещения судна.

Допустимые параметры волн, ожидаемые на защищенной акватории, регламентируются также параметрами сохранения морских берегов и пляжного материала, а также недопущением затопления прибрежных территорий.

В качестве примера рассмотрен проект «Расчетного обоснования и проектирования конструкций гидротехнических сооружений для защиты от затопления морскими волнами территории завода по адресу: г. Одесса, ул. Черноморского Казачества, 72». В данном проекте рассматривалось создание ОГТС неполного вертикального профиля расположенного на расстоянии 200 м от береговой линии. Предусматривалось расположить конструкцию оградительного сооружения при глубинах  $d = 4,0(м)$ , на которых при ветровом нагоне, глубина воды у ОГТС, может достигать величины  $d = 5,0(м)$ . Построив лучи рефракции, были установлены значения основных волновых параметров 1 %-й обеспеченности в соответствии с [1; 2; 3 и 4], в месте расположения проектируемого сооружения. Высота волны при глубине  $d = 4,0(м)$  составит  $h = 2,4(м)$  с длиной равной  $\lambda = 24,5(м)$ . При волновом нагоне высота волны будет составлять  $h = 2,55(м)$ , а длина волны  $\lambda = 30,0(м)$ . В соответствии с проведенными расчетами была установлена, величина максимальной высоты волны 1 %-й обеспеченности на защищаемой акватории, которая не должна превышать величины  $h = 1,5(м)$ , во избежание процессов затопления защищаемой территории завода.

В отечественной литературе [6], а также нормативных документах стран СНГ [7] наиболее приближенной методикой трансформации волн ОГТС неполного профиля, является определение коэффициента трансформации волн сооружениями, возводимыми из однородной наброски крупного камня, бетонных массивов или фасонных блоков (см. рис. 2).

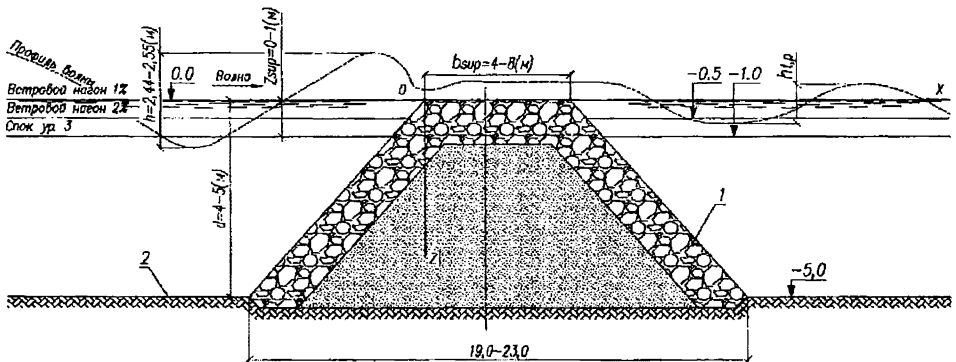


Рис. 2. Расчетная схема конструкции оградительного сооружения неполного профиля:

- 1 – набросное сооружение неполного профиля с ядром из несортированного камня;
- 2 – естественное морское дно

Значение величины трансформированных волн, прошедшей через тело оградительного сооружения неполного профиля (см. рис. 2), следует определять в соответствии с формулой (1) [6; 7]

$$h_{t,p} = K_{t,p} \cdot h_{1\%}, \quad (1)$$

где  $K_{t,p}$  – коэффициент проницаемости.

В соответствии с проведенными расчетами по формуле (1) были рассмотрены три расчетных случая: при 1 % волновом нагоне и расположении отметки гребня ОГТС на уровне воды, в качестве второго случая принят 2 % волновой нагон и возвышение гребня сооружения на 0,5 м относительно спокойного уровня моря. В качестве третьего расчетного случая принят спокойный уровень моря при сгоне и возвышении гребня на 1,0 м относительно спокойного уровня.

Результаты проведенных расчетов по определению параметров волн прошедших через тело ОГТС на защищаемую акваторию с дальнейшей трансформацией по формуле (1) представлены в таблице 1.

Некоторые результаты решения вопросов трансформации волн вертикальной преградой были опубликованы Г.С. Башкирова [8]. Среди вопросов, относящихся к расчету гашения волн сквозными волноломами типа понтонов, решеток и экранов (см. рис. 3), приводится формула, предназначенная для расчета коэффициентов гашения волн «подводными порогами». Представленная формула имеет вид (2)

$$K_p = \frac{h}{h_0} = \sqrt{\frac{sh4\pi \frac{H}{\lambda} - sh4\pi \frac{H - (H - P_b)}{\lambda} + 4\pi \frac{H - P_b}{\lambda}}{sh4\pi \frac{H}{\lambda} + 4\pi \frac{H}{\lambda}}} = \sqrt{\frac{sh4\pi \frac{H}{\lambda} - sh4\pi \frac{H - a}{\lambda} + 4\pi \frac{a}{\lambda}}{sh4\pi \frac{H}{\lambda} + 4\pi \frac{H}{\lambda}}}, \quad (2)$$

где  $h_0$  – высота исходной волны, м;

$h$  – высота остаточной волны между волноломом и берегом, м;

$\lambda$  – длина исходной волны, м;

$H$  – глубина воды в месте установки волнолома, м;

$P_b$  – высота волнолома (от дна до гребня);

$H - P_b = a$  – заглубление гребня волнолома от спокойного уровня моря, м.



Анализируя формулу (2), автором было указано на то, что «донные пороги, более эффективны при малых значениях  $H/\lambda$ , и при весьма малых значениях  $a/H$ » [9].

Предлагаемая Г.С. Башкировым формула для определения величины гашения волнения подводным волноломом неполного вертикального профиля, позволяет учитывать лишь одну характеристику самого сооружения – величину затопления его гребня, но не учитывает формы передней и задней граней, а также ширины самого сооружения.

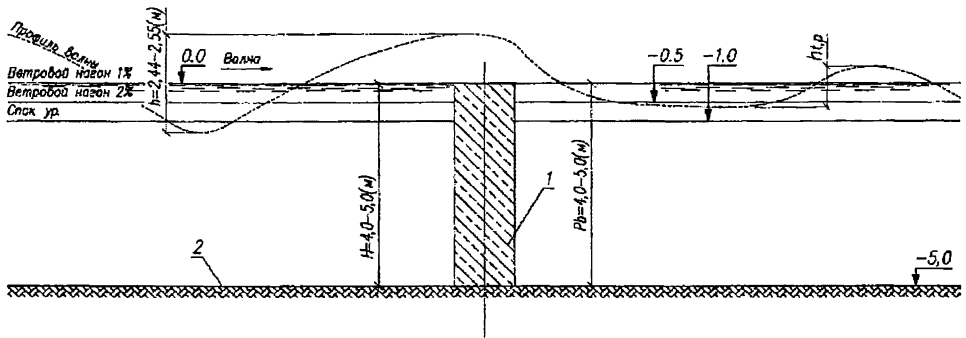


Рис. 3. Расчетная схема конструкции оградительного сооружения неполного профиля:

1 – вертикальная преграда; 2 – естественное морское дно

Также в 1959 г. вышла в свет статья В.В. Хаперского [10], в которой среди вопросов, относящихся к расчету гашения волн ОГТС неполного вертикального профиля, приводится формула для определения коэффициентов гашения волн сооружениями данного типа (3)

$$k_{нр} = \sqrt{\frac{sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda} - sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda} \cdot \left(1 - \frac{\Delta H}{h}\right) + 4\pi \frac{h}{\lambda} \cdot \frac{\Delta H}{h}}{sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda} + sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda}}}, \quad (3)$$

где  $\Delta H$  – положение верха сооружения по отношению к горизонту покоя, м.

Иные символы, представленные в формуле (3), описаны ранее.

Основным недостатком предложенной методики расчета является то, что при расположении верха сооружения на спокойном уровне воды, при различных параметрах волн в соответствии с формулой (3) получаются одинаковые коэффициенты гашения, что, по словам самого автора, не отражает действительность [10].

В диссертационной работе И.А. Лызлова [11] была предложена формула (4), предназначенная для определения коэффициентов гашения параметров волн подводным волноломом

$$\psi = \left(1 - \frac{h}{h_0}\right) \cdot 100\% = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot 10^c}{(H-a)^{3/2} \cdot \lambda^c} + \frac{10 \frac{\alpha}{\pi} + 10 \frac{\beta}{\pi}}{(H-a)^{1/2} \cdot 2^c}} \cdot \sqrt{l} \cdot \sin \phi, \quad (4)$$

где  $\psi$  – величина гашения высоты волны подводными волноломами, %;

$h_0$  – высота исходной волны, м;

$S$  – площадь поперечного сечения волнолома, м<sup>2</sup>;

$a$  – абсолютная величина затопления гребня оградительного сооружения от спокойного уровня, м;

$H$  – глубина в месте установки оградительного сооружения, м;

$\lambda$  – длина волны, м;

$l$  – ширина гребня оградительного сооружения, м;

$\alpha$  и  $\beta$  – углы в градусах между линией дна и передней, задней гранями волнолома, отсчитывается против хода часовой стрелки 90 градусов;

$\phi$  – угол в градусах между лучом направления волн и трассой оградительного сооружения, рассмотрен самый неблагоприятный случай 90 градусов.

$$C = \frac{3 \cdot a}{2 \cdot h_0}. \quad (5)$$

Результаты по определению параметров гашения волн в соответствии с формулой И.А. Лызлова (4) представлены в таблице 1.

Экспериментальные данные лабораторных исследований при фронтальном подходе волн, были анализированы в дискуссии О.Ю. Бирской [12]. Для определения коэффициентов гашения волн, была рекомендована к применению формула (6)

$$k_{\text{вп}} = \frac{h - h_0}{h} = \sqrt{\frac{h}{\lambda}} \cdot \left(0,23 \frac{B}{h} + 2,3 \frac{\Delta H}{h} + 1,6\right), \quad (6)$$

где  $h$  – высота исходной волны, м;

$h_0$  – высота остаточной волны между волноломом и берегом, м;

$\lambda$  – длина исходной волны, м;

$\Delta H$  – возвышение верха сооружения относительно расчетного уровня воды, м;

$B$  – ширина гребня сооружения, м.

Расчеты по определению параметров гашения волн по формуле (6) вертикальным сооружением неполного профиля представлены в таблице 1.

Таблица 1

*Результаты расчетов параметров волн  
за конструкцией оградительного сооружения полного профиля*

Номер	Высота волны перед сооружением, м	Ширина верхнего строения ОГТС, м	Высота волны за сооружением, м			
			формула 1	формула 4	формула 6	формула 7
При 1 % нагоне воды и отметке гребня сооружения равной 0						
1	2,55 (А)	8,0	0,97	1,82	0,82	1,37
		7,5	1,02	1,89	0,86	1,40
		7,0	1,07	1,94	0,89	1,43
		6,5	1,10	1,99	0,93	1,47
		6,0	1,12	2,04	0,96	1,50
		5,5	1,15	2,09	0,99	1,54
		5,0	1,17	2,13	1,03	1,59
		4,5	1,20	2,18	1,06	1,64
		4,0	1,28	2,22	1,09	1,70
При 2 % нагоне воды и отметке гребня сооружения равной +0,5 м относительно спокойного уровня моря						
2	2,50 (В)	8,0	0,40	1,44	0,43	1,14
		7,5	0,45	1,52	0,47	1,17
		7,0	0,48	1,60	0,50	1,20
		6,5	0,50	1,68	0,53	1,23
		6,0	0,53	1,75	0,57	1,26
		5,5	0,55	1,83	0,60	1,30
		5,0	0,58	1,90	0,64	1,35
		4,5	0,60	1,97	0,68	1,40
		4,0	0,65	2,04	0,70	1,46
При сгоне и возвышении гребня сооружения на +1,0 м относительно спокойного уровня моря						
3	2,40 (С)	8,0	0,19	1,25	0,00	0,87
		7,5	0,22	1,34	0,00	0,90
		7,0	0,24	1,43	0,00	0,92
		6,5	0,26	1,51	0,04	0,95
		6,0	0,29	1,59	0,07	0,99
		5,5	0,34	1,67	0,11	1,03
		5,0	0,38	1,74	0,14	1,07
		4,5	0,43	1,82	0,18	1,12
		4,0	0,48	1,89	0,21	1,17

Проанализировав результаты экспериментальных исследований воздействия волн на оградительные гидротехнические сооружения, опубликованных различными зарубежными авторами (Seeling, 1980; Allsop, 1983; Daemrich and Kahle, 1985; Powel and Allsop, 1985; van der Meer,

1988; Даєтен, 1991), была предложена d'Angremond и другими авторами формула (7) [13; 14], предназначенная для определения параметров трансформации волн, сооружением неполного вертикального профиля.

$$k_i = 0,4 \frac{h_s}{H_i} + \left(\frac{B}{H_i}\right)^{-0,31} \cdot a \cdot (1 - e^{-0,5\zeta}), \quad (7)$$

где  $h_s$  – возвышение верха сооружения относительно расчетного уровня воды, м;

$H_i$  – высота исходной волны, м;

$a$  – коэффициент, принимаемый равным  $a = 0,64$  и  $a = 0,80$  соответственно для проницаемых и непроницаемых поверхностей;

$B$  – ширина гребня сооружения, м.

$$\zeta = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_i / L_0}}. \quad (8)$$

В соответствии с представленными формулами (1); (4); (6) и (7) были проведены расчеты, по определению параметров трансформированных волн, прошедших через тело ОГТС неполного вертикального профиля, результаты которых представлены в таблице 1.

В таблице представлены три расчетных случая, описанных ранее, отличающихся между собой высотами волн и расположением гребня по отношению к спокойному горизонту воды. На рис. 4, 5 и 6 представлены графики сравнения параметров трансформированных волн, оградительных сооружением неполного вертикального профиля, определенные при помощи различных методик.

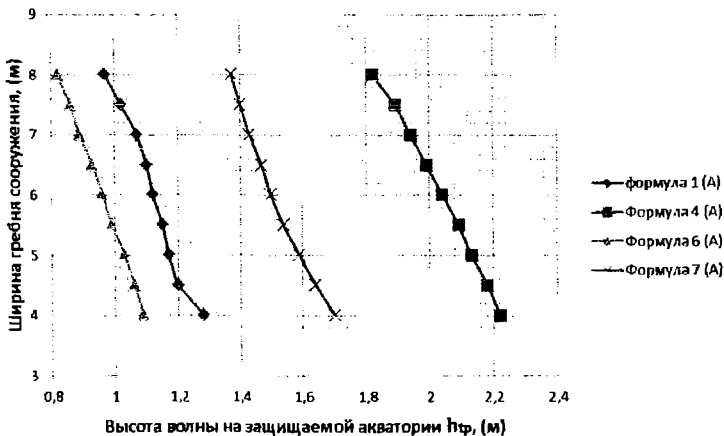


Рис. 4. График сравнения параметров трансформированных волн, определенных различными методиками при расчетном случае (А)

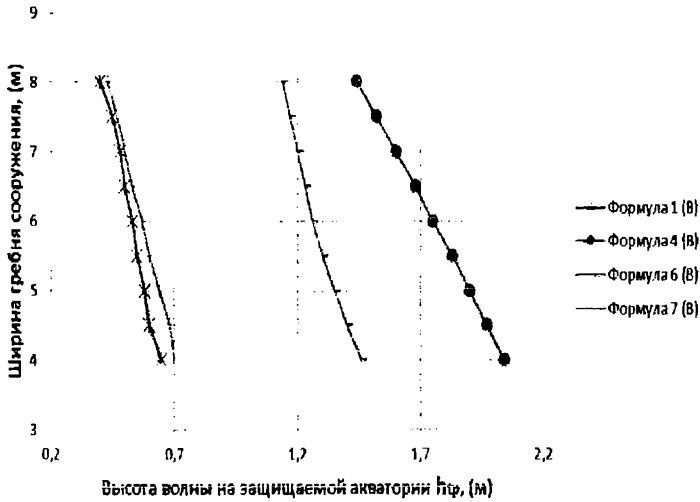


Рис. 5. График сравнения параметров трансформированных волн, определенных различными методиками при расчетном случае (B)

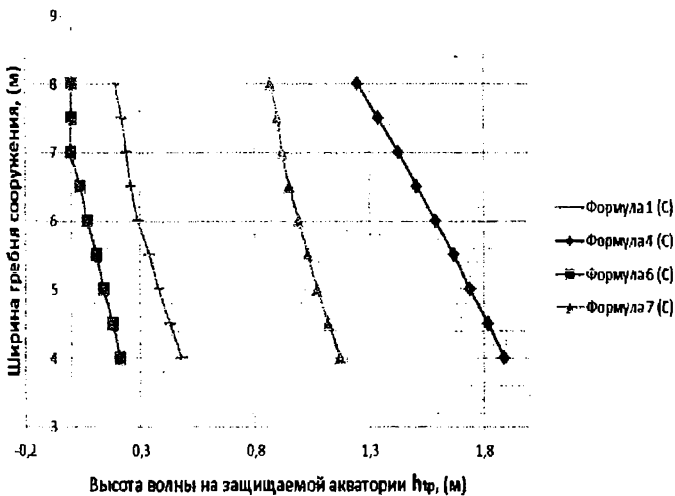


Рис. 6. График сравнения параметров трансформированных волн, определенных различными методиками при расчетном случае (C)

**Выводы.** Проанализировав результаты расчета как отечественных, так и зарубежных методик, определения величины коэффициентов гашения волн оградительными гидротехническими сооружениями неполного вертикального профиля, была установлена существенная разница в полученных результатах вычислений. В инженерных вопросах проектирования ОГТС является установление значений точных величин высот волн прошедших через тело оградительного сооружения на защищаемую акваторию. Снижение отметки верхнего строения ОГТС позволит

существенно уменьшить капиталовложения как в вопросах строительства новых, так и реконструкции существующих оградительных сооружений. Для более тщательного решения представленного в статье вопроса в гидродинамической лаборатории кафедры Энергетического и водохозяйственного строительства ОГАСА, была создана физическая модель, которая была подтверждена масштабным описанным воздействием. Результаты экспериментальных исследований, будут представлены в дальнейших статьях.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Строительные нормы и правила СНиП 2.06.04- 82\* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): введен 1 января 1986 г. / Госстрой СССР – Москва: 1986. – 85 с. – (офиц. текст).*
2. *Свод правил СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): введен 01 января 2013 г. / Министерство регионального развития Российской Федерации. – М., 2012. – 116 с.*
3. *Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-170-2009. Гидротехнические сооружения, Правила определения нагрузок и воздействий (волновых, ледовых и от судов): введен 30 декабря 2009 г. / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 77 с.*
4. *Строительные нормы и правила Республики Казахстан СНиП РК 3.04-40-2006. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (Волновые, ледовые и от судов): введен 01 июня 2007 г. / Министерство индустрии и торговли Республики Казахстан. – Астана, 2006. – 86 с.*
5. *Руководство П 58-76 ВНИИГ по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновые ледовые и от судов): введен 1977 г. / Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева (ВНИИГ). – Л., 1977. – 313 с.*
6. *Ведомственный свод правил ВСП 33-03-2007. Инструкция по проектированию откосных и сквозных оградительных сооружений и специальных подводных стендов: введен 03 марта 2007 г. / Научно-исследовательский Центр 26 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации. – М., 2008. – 95 с.*

7. Лапто Д.Д. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Теория. Инженерные методы. Расчеты / Д.Д. Лапто, С.З. Стрекалов, В.К. Завьялов и др. –Л.: Изд-во Всесоюзного ордена трудового красного знамени научно-исследовательского ин-та гидротехники им. Б.Е. Веденеева, 1990. – 433 с.
8. Руководящий документ РД 31.33.10-87. Рекомендации по учету гидрометеорологического режима при проектировании недостаточно защищенных от волнения причалов: введен 01 января 1988 г. / Одесский филиал государственного проектно-исследовательского и научно-исследовательского ин-та морского транспорта (СоюзморНИИпроект) «ЧерноморНИИпроект» – М., 1987. – 56 с. – (офиц. текст).
9. Башкиров Г.И. Расчет гашения волн в сквозных волноломах типа экранов и решеток / Г.И. Башкиров // Морской флот. – М., 1959. – Вып. № 6. – С. 19-21.
10. Ханперский В.В. Исследование воздействия волн на ограждающие сооружения неполного вертикального профиля // Труды высшего инженерно-технического краснознаменного училища ВМФ. – Л., 1959. – Вып 56.
11. Лызлов И.А. Исследование эффективной работы подводных волноломов различных типов / И.А. Лызлов. Диссертация. – Одесса: ОИИМФ, 1963.
12. Бирская О.Ю. Исследование воздействия разбивающихся волн на сооружения неполного вертикального профиля // Гидротехническое строительство. – М., 1982. – Вып. № 6. – С. 45- 47.
13. D'Angremond, K. «Wave Transmisin at Lowcrested Structures». / K. D'Angremond, J. Van der Meer and R. de Jong, (1996). Proceedings of 25th International Conference on Coastal Engineering (ICCE), Kobe, Japan.
14. Koohestani A. CRM-Change Management: The Role Of Training In Successful CRM Implementation / A. Koohestani. – 2006. Masters thesis, Multimedia University.

Стаття надійшла до редакції 12.05.2017

#### Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Морські і річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **М.П. Дубровський**

кандидат технічних наук, доцент кафедри Енергетичного та водногосподарчого будівництва Одеської державної академії будівництва та архітектури **В.П. Слободянюк**

УДК 629.072.174:656.022.6

С.П. Онищенко, О.Д. Вишневська

### ЗАСТОСУВАННЯ R/S-АНАЛІЗУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ БАЛКЕРНОЇ СЕКЦІЇ ФРАХТОВОГО РИНКУ

*У статті запропоновано для вивчення динаміки кон'юнктури фрахтового ринку використовувати R/S-аналіз. Представлені результати дослідження балкерної секції фрахтового ринку за період 2002-2016 рр. на базі R/S-аналізу. Встановлено показник Хьорста для ставок тайм-чартеру на судна Панамакс і Супрамакс, значення даного показника дозволяють зробити висновок про наявність «довготривалої пам'яті» у балкерної секції фрахтового ринку.*

**Ключові слова:** фрахтовий ринок, балкери, динаміка, R/S-аналіз, ставки тайм-чартеру.

*В статті пропонується для вивчення динаміки кон'юнктури фрахтового ринку використовувати R/S-аналіз. Представлені результати дослідження балкерної секції фрахтового ринку за період 2002-2016 гг. на базі R/S-аналізу. Установлен показатель Херста для ставок тайм-чартера на суда Панамакс и Супрамакс, значения данного показателя позволяют сделать вывод о наличии «долговременной памяти» у балкерной секции фрахтового рынка.*

**Ключевые слова:** фрахтовый рынок, балкеры, динамика, R/S-анализ, ставки тайм-чартера.

*The article is dedicated to using of R/S analysis for studying the dynamics of the freight market. The main provisions of the R/S-analysis have been generalized. For the bulk section of the freight market for the time-period 2002-2016 R/S analysis are performed. The Hurst index for the Panamax and Supramax time-charter rates is established, the value of this indicator allow making a conclusion about a «long-term memory» at the bulk section of the freight market.*

*The research conducted give a new look at dynamics of the freight market conjuncture from a position of the fractal theory. These enrich a theoretical base of freight market studying by the new approach.*

**Keywords:** freight market, bulkers, dynamics, R/S-analysis, time charter rates.

**Вступ.** Фрахтовий ринок є ринком, що володіє значними особливостями, які виражаються, в тому, числі в специфіці динаміки його кон'юнктури. Зокрема, однією з відмінних рис кон'юнктури фрахтового ринку є високого рівня волатильність в певні часові періоди і складність з прогнозуванням її подальшої динаміки.



Рис. 1 демонструє, зокрема, зміну ставок тайм-чартеру кейпсайзів до 9 разів за кілька місяців. Така зміна тайм-чартерної ставки (добового доходу у термінах джерела) обумовлюється, перш за все, значними коливаннями попиту.

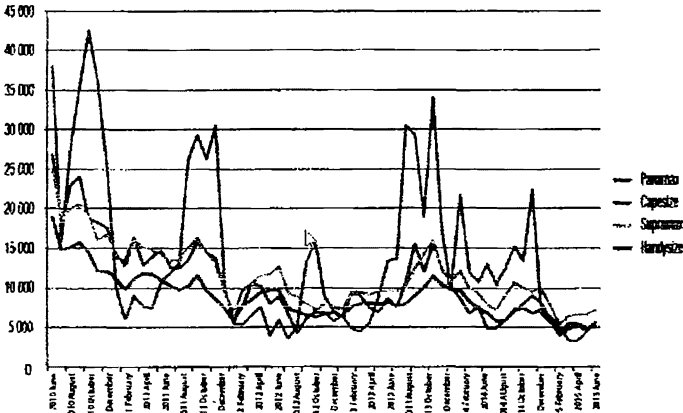


Рис. 1. Динаміка добового доходу балкерів (джерело – [1])

**Аналіз основних досягнень і літератури.** Традиційно для аналізу і прогнозування динаміки кон'юнктури фрактового ринку використовують кореляційно-регресійний аналіз та аналіз часових рядів (наприклад, [2-6]).

При побудові регресійних моделей, що описують поведінку ставок фрахту, в якості незалежних змінних використовують обсяги світової торгівлі певними категоріями товарів (для балкерної секції – зерно, руда, вугілля), обсяги поставок нових суден і списання на злам старих.

Проте, сучасна економічна наука збагачується новими інструментами, зокрема, для фінансових ринків досить успішно зарекомендували себе і набули поширення за останні роки методи нелінійної динаміки і теорія хаосу (наприклад, [7-10]).

Обумовлено це тим, що стандартні статистичні методи засновані на підпорядкуванні нормальному закону розподілу досліджуваного статистичного матеріалу. Тому практична більшість досліджень або доводить підпорядкованість досліджуваного матеріалу нормальному закону, або приймає цей факт апіорі.

Згідно з узагальненнями, що викладено у [7], імовірнісні моделі ринків (перш за все, фінансових) успішно працювали до обвалу американського ринку в 1987 році (індекс Доу-Джонса за один день впав на 29,2 %). У даному джерелі є посилання на думки аналітиків, згідно з якими цей «обвал» – рідкісна подія, відповідно до кривої Гауса; тому в наступний раз щось подібне може наступити лише через багато років.

Але ж ланцюг криз – 1992, 1995, 1998, 2008 років спростував думку щодо «рідкості» кризових явищ на фінансових ринках, які у подальшому впливають на галузеві ринки. В [6] вказується, що дані події суперечили всім теоретичним постулатам ймовірнісного підходу до динаміки ринків; тоді виникла необхідність зовсім іншого погляду на сутність фінансового ринку. Такий підхід запропонував американський математик, засновник теорії фракталів – Бенуа Мандельброт; він виявив явище «товстих хвостів», суть якого полягає у відмінності кривої розподілу ймовірностей зміни ринкових котирувань від гаусовської кривої. А саме, по обидва боки «дзвона», ймовірності набагато вище, ніж при нормальному розподілі. Ці результати Мандельброт отримав, досліджуючи динаміку цін на бавовну, котирування акцій великих американських компаній і фондових індексів [6].

Наприклад, було встановлено [7], що для індексу Доу-Джонса коливання, які перевищують п'ять стандартних відхилень, відбувалися в п'ять тисяч разів частіше, ніж передбачає нормальний закон.

Дослідження Мандельброта обґрунтували створення ним фрактальної геометрії та виявлення так званої «довгострокової пам'яті» ринку [7]. Фрактальний аналіз часових рядів враховує поведінку системи не тільки на даний момент, але і його передісторію. З поняттям довгої пам'яті ринку тісно пов'язана концепція персистентності, яка була введена Хьорстом [7]. Згідно до визначення, персистентність характеризує *властивість часового ряду зберігати тенденцію зміни*. Для кількісної характеристики цієї властивості Хьорст запровадив величину, яка нині носить його ім'я – показник (експонента) Хьорста, і відповідний метод аналізу – метод нормованого розмаху (R/S-statistics, rescaled range analysis), що набув широкого поширення при аналізі структури пам'яті часових рядів [7].

Застосування R/S аналізу до фондових ринків використовували Мандельброт ([7]), Петерс ([8]) та інш.

Для фрактового ринку спроби застосування даного аналізу були зроблені у [12-14]. Проте, у даних роботах викладено в більшому ступені концептуальний підхід до застосування фрактальної теорії для вивчення динаміки фрактового ринку. Деякі експериментальні розрахунки наведені у [12]. Проте, дане питання потребує подальшого дослідження.

**Мета дослідження, постановка задачі.** Виходячи з вищесказаного, метою даного дослідження є застосування R/S аналізу для дослідження динаміки кон'юнктури фрактового ринку та формування висновків щодо наявності «довготривалої пам'яті» у фрактового ринку.

**Матеріал досліджень.** Інформаційною базою дослідження послужили статистичні дані щодо ставок тайм-чартеру для суден Панамакс і Супрамакс (дані опубліковані в [15]) за період 2002-2016 рр. (Графік зміни ставок тайм-чартеру для Панамаксів представлений на рис. 2).

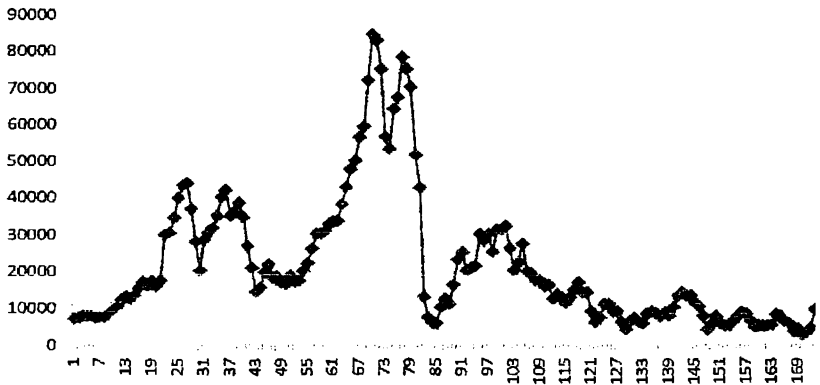


Рис. 2. Динаміка ставок тайм-чартеру для Панамаксів за 2002-2016 рр.

**Результати досліджень.** Дослідження проводилося відповідно до методики розрахунку показника Хьорста, яка представлена в роботах [7-10]. Наведемо стислий огляд даної методики.

Першим етапом дослідження є розрахунки логарифма приросту доходу (ставок тайм-чартеру)

$$S_i = \ln \left( \frac{U_i}{U_{i-1}} \right), \quad i = 2, \dots, n, \quad (1)$$

де  $S_i$  – логарифм приросту доходу в момент часу  $i$ ;

$U_i$  – прибуток в момент часу  $i$ ;

$n$  – кількість розглянутих моментів часу.

Наступний крок – знаходження найменшого власного дільника  $n$ , не меншого 10. Позначимо його  $m$ . Розділимо  $n$  на  $k = n/m$  груп. Елементи в кожній групі позначимо  $t_i$ . Очевидно, що кількість елементів в кожній групі складає  $m$ . Знайдемо середні значення в кожній групі

$$\bar{t}_k = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i, \frac{1}{m} \sum_{i=m+1}^{2m} t_i, \dots, \frac{1}{m} \sum_{i=(k-1)m+1}^n t_i. \quad (2)$$

Наступним етапом обчислюються відхилення від середнього значення  $X_i$

$$X_1 = t_1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i, X_2 = (t_2) - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (t_i) + X_1, \dots, X_m = \left( t_m - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i \right) + X_{m-1}.$$

Тоді розмах стає різницею між максимальним і мінімальним рівнями

$$R_k = \max(X_i) - \min(X_i), \quad (3)$$

де  $R_k$  – розмах відхилення  $X_i$ ;

$\max(X_i)$  – максимальне значення для  $X_i$ ;

$\min(X_i)$  – мінімальне значення для  $X_i$ .

По кожній групі розраховуємо стандартне середньоквадратичне відхилення  $S_k$  за стандартною формулою.

Показник  $R/S$  по кожній групі розраховується як  $\frac{R_k}{S_k}$ . Потім

необхідно визначити середній розмах варіації

$$\overline{R/S_j} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R/S_i. \quad (4)$$

Індекс  $j$  в даному випадку означає отримання середнього розмаху варіації на  $j$ -му кроці, який відповідає  $j$ -му власному дільнику. Процедура повторюється з використанням в якості  $m$  всіх можливих власних дільників. На останньому кроці  $m$  дорівнюватиме  $n/2$ . Таким чином, формується наступна вибірка:

$$\overline{R/S_j}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Кількість елементів у вибірці відповідає кількості власних дільників  $n$ .

Далі отримується рівняння лінійної регресії, в якому залежною змінною виступає логарифм показника  $R/S$ , а факторною ознакою – логарифм кількості елементів в  $j$ -й групі  $k$

$$\log \frac{R}{S} = \log c + H * \log k \quad (6)$$

де  $H$  – показник Хьорста – мета проведених розрахунків.

Згідно до прикладного трактування отриманого значення показника Хьорста в [7] виділяються три ситуації:

1)  $H = 0,5$  – часовий ряд стохастичний. Це вказує на випадковість ряду (білий шум): тобто події, які досліджуються, випадкові і некоррельовані; *сьогодення не впливає на майбутнє*.

2)  $0 \leq H \leq 0,5$  – антиперсистентний часовий ряд, означає рожевий шум. Такий тип системи часто називають «повернення до середнього». Якщо система демонструє зростання в попередній період, то швидше за все в наступному періоді почнеться спад. І навпаки, якщо йшло зниження, то ймовірний близький підйом. Стійкість такої антиперсистентної поведінки залежить від того, наскільки  $H$  близько до нуля: чим ближче його значення до нуля, тим ряд більш мінливий, або волатильний.

Незважаючи на широке поширення концепції «повернення до середнього» в економічній і фінансовій літературі, досі практично виявлено незначну кількість антиперсистентних рядів [8].

3)  $0,5 \leq H \leq 1,0$  – персистентний часовий ряд («чорний шум») – трендостійкі ряди. Якщо ряд зростає (убуває) у попередній період, то більш ймовірно, що він буде зберігати цю тенденцію ще якийсь час у

майбутньому. Спостереження не є незалежними; кожне спостереження несе пам'ять про всі попередні події. Недавні події мають *вплив більший, ніж події віддалені*, але залишковий вплив цих останніх подій завжди відчутний.

Трендостійкість тим більше, чим ближче  $H$  до 1, та навпаки, чим ближче  $H$  до 0,5, то маємо справу з більш «зашумленим» і менш вираженим трендом.

На рис. 3, 4 наведені графіки, які відображають динаміку зміни ставок тайм-чартеру для суден Панамакс и Супрамакс. Найбільше падіння відповідає 2009 року, коли після кризи 2008 стався «обвал» ринку.

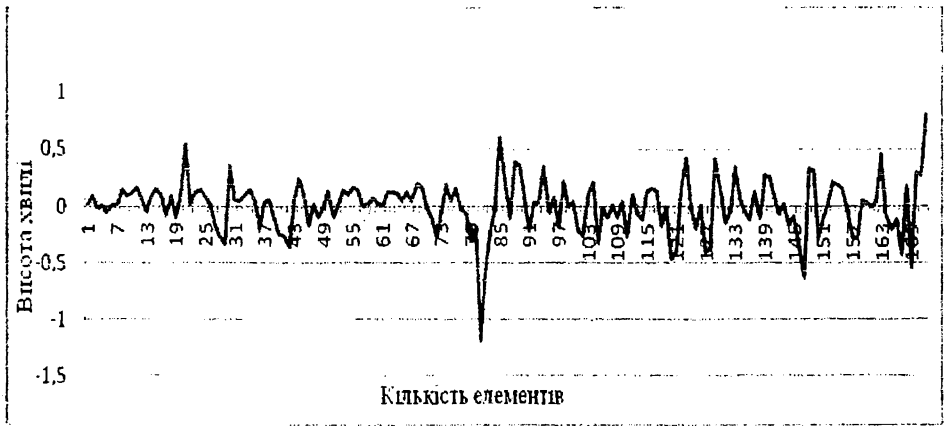


Рис. 3. Динаміка збільшень ставок тайм-чартеру для балкерів Панамакс

Згідно з методикою R/S-аналізу, у результаті проведених досліджень та необхідних розрахунків, отримані регресійні моделі типу (6) для балкерів «Panamax» і «Supramax» (рис. 5, 6).

Розрахунки показали, що показник Хьорста для ставок тайм-чартеру для балкерів «Panamax» та «Supramax» дорівнює, відповідно,  $H=0,56$  і  $H=0,55$  (коефіцієнти при  $X$  в рівнянні регресії – рис. 5, 6).

Нескладно помітити, що даний ряд є персистентним, тобто процес розвитку ставок тайм-чартеру характеризується наявністю довготривалої пам'яті і має трендовий характер. Але ж з урахуванням близькості показників Хьорста до 0,5 «вплив» довгострокової пам'яті не є значним, при цьому згідно з попередніми характеристиками різних рівнів показника Хьорста, маємо справу з достатньо «зашумленим» і менш вираженим трендом.

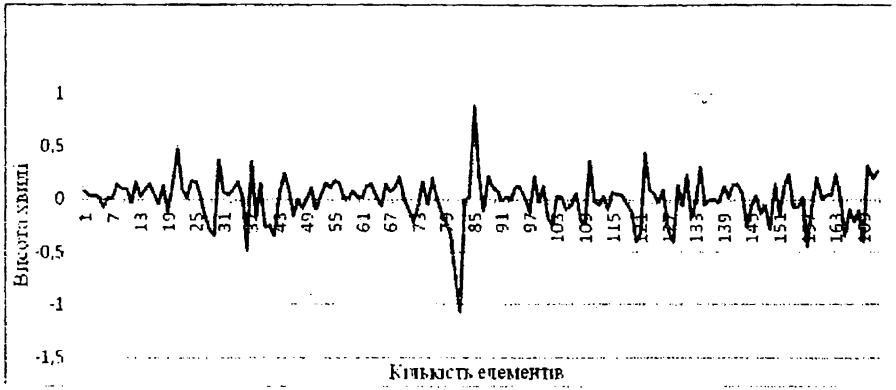


Рис. 4. Динаміка збільшень ставок тайм-чартер для балкерів Супрамакс

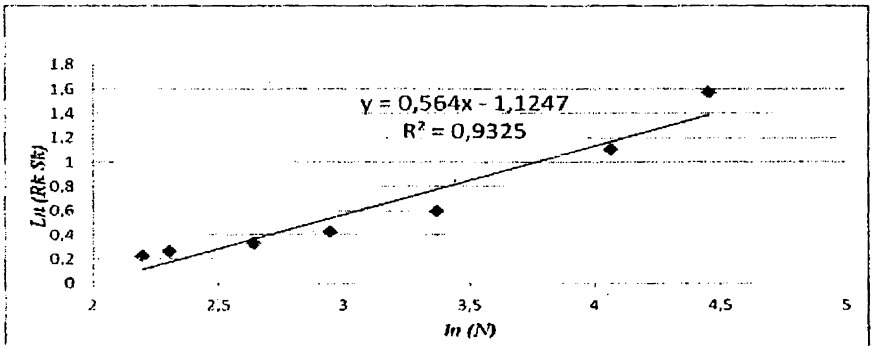


Рис. 5. R/S-аналіз ставок тайм-чартеру для балкерів Панамакс

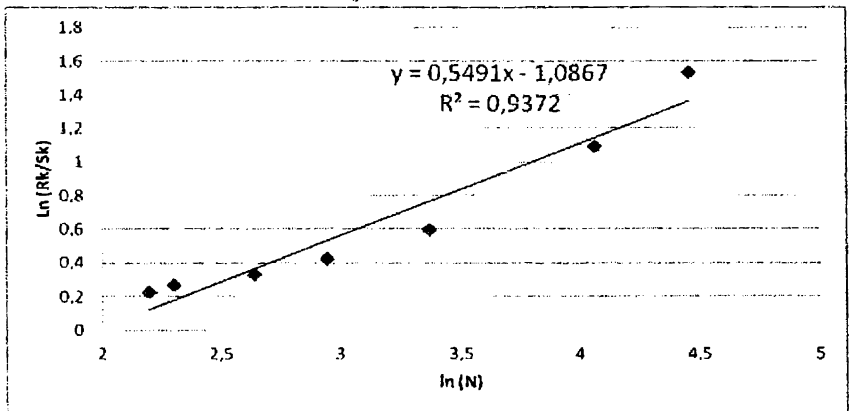


Рис. 6. R/S-аналіз ставок тайм-чартеру для балкерів Супрамакс

Відзначимо, що згідно з результатами досліджень різних сегментів фінансових ринків (наприклад, [9; 10]), у багатьох випадках отримані

6. Онищенко С.П. Моделирование процессов организации и функционирования системы маркетинга морских транспортных предприятий [Текст] / С.П. Онищенко. – Одесса: Феникс, 2009. – 328 с
7. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение хаоса в инвестициях и экономике [Текст] / Э. Петерс. – М.: Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
8. Мандельброт Б. (Не)послушные рынки. Фрактальная революция в финансах [Текст] / Б. Мандельброт. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. – 408 с.
9. Rainer Hegger, Holger Kantz, Tomas Schreiber. Practical implementation of nonlinear time series methods // *Chaos* 9. – 1999. – P. 413-435.
10. Нехрасова И.В. Показатель Херста как мера фрактальной структуры и долгосрочной памяти финансовых рынков // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2015. – № 7(38). – С. 87-91.
11. Крицун К.І. Перспективи застосування фрактального аналізу на валютному ринку України // *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Серія: Економіка*. – 2014. – № 160. – С. 48-53.
12. Онищенко С.П. Дослідження динаміки фрахтового ринку методами фрактального аналізу / С.П. Онищенко, К.Д. Шихеева // *Вісник економіки транспорту і промисловості*. – № 47. – 2014. – С. 195-201.
13. M. Jurčević, F. Mitrović, M. Nadrljanski: System dynamics and Theory of Chaos in Freight Rate Forming in Shipping // *Promet – Traffic&Transportation*. – Vol. 22. – 2010. – № 6. P. 433-438.
14. Fang Wei. Analysis on Long Memory of the Volatilities of International Dry Bulk Freight Index Using Fractal Theory // *2007 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing 21-25 Sept*. – 2007.
15. *Lloyds list* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lloydslist.com>

Стаття надійшла до редакції 15.05.2017

#### Рецензенти:

доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри «Економічна кібернетика» Одеського національного політехнічного університету **З.М. Соколовська**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Морські перевезення» Одеського національного морського університету **О.Г. Шибасв**

УДК 629.072.174:656.022.6

С.П. Онищенко, Ю.О. Коскіна

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ  
БАЛКЕРНИХ СУДЕН ПРИ РОБОТІ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ВАНТАЖІВ**

*Запропоновано методичний підхід до визначення та аналізу оптимальної швидкості суден, який може використовуватися судновласником-перевізником з метою максимізації добового прибутку при використанні суден на перевезеннях вантажів за рахунок зменшення витрат на паливо з метою підвищення ефективності рейса. Міркування базуються на умовах використання суден у рейсовому відфрахтуванні, за якого терміни виконання рейсу не регламентовано жорстко, що забезпечує судновласнику можливість варіювання швидкістю руху суден.*

**Ключові слова:** ефективність рейса, витрати на бункер, добовий прибуток судновласника, швидкість руху судна.

*Предложен методический подход к определению и анализу оптимальной скорости судна, который может использоваться судовладельцем-перевозчиком с целью увеличения суточной прибыли при использовании судов на перевозках грузов за счет уменьшения расходов на топливо путем варьирования скоростью хода с целью повышения эффективности рейса. Рассуждения основываются на условиях рейсового отфрахтования, в котором сроки выполнения рейса жестко не регламентированы, что обеспечивает судовладельцу возможность варьирования скоростью движения судов.*

**Ключевые слова:** эффективность рейса, расходы на бункер, суточная прибыль судовладельца, скорость хода судна.

*The purposed mathematical apparatus can be used by the shipowner-carrier in order to increase the daily profit by using vessels on carriages by reducing fuel costs varying the vessel speed in order to increase the efficiency of the voyage. The reasonings of the paper are based on the terms of voyage chartering of the vessels. The fact is the terms of the voyage are not strictly fixed in Charter Party and that is why the shipowner-carrier has the possibility to vary the speed of the vessel to get his goal. Bunker expenses, reduced with the using of optimal speed, is the possibility to increase the efficiency of the voyage.*

**Keywords:** efficiency of voyage, bunker expenses, Owner daily profit, vessels speed.

**Вступ.** Однією з головних задач судновласника-перевізника при експлуатації тоннажу на перевезеннях вантажів, зрозуміло, є забезпечення економічної ефективності використання флоту – для нього це є запору-



кою функціонування на фрахтовому ринку. Шляхи, якими судновласник вирішує це завдання, зводяться до максимізації прибутку та/або зменшення величин витратних статей. Найбільш гостро таке питання постає у періоди, коли фрахтовий ринок характеризується низькими фрахтовими ставками на перевезення вантажів (виходячи з яких власне формується основний дохід перевізника) та/або підвищених цін на бункер для торговельних суден.

Серед найбільш дієвих шляхів за таких обставин є експлуатація суден на так званих економічних швидкостях, до чого часто вдаються оператори суден. Величини таких «економічних» швидкостей залежать від рівней фрахтів на перевезення вантажів та поточних цін на суднове паливо. Умови договорів перевезення вантажів у трамповому судноплаванні дійсно дають перевізникам певні можливості варіювання швидкістю руху судна, оскільки у чартерах є лише загальне застереження, що судно у рейсі має рухатися «навігаційно рекомендованим курсом» «із розумною швидкістю». Враховуючи це, оператори морського тоннажу мають можливість організувати виконання рейса, виходячи з необхідності підвищення його економічної ефективності.

Економічність виконання рейсів при експлуатації суден на занижених швидкостях досягається за рахунок економії паливних витрат, які є вагомою складовою загальних витрат, пов'язаних із виконанням рейсу. Навіть у наш час, коли ціни на бункерне паливо суттєво впали, бункерні витрати продовжують впливати на економічність рейсів, які виконують торговельні судна, сягаючи до 60 % величини загальних витрат, пов'язаних із виконанням рейсу [1].

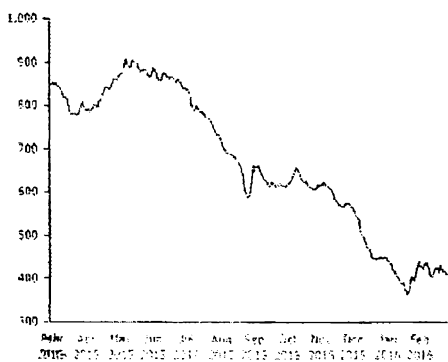


Рис. 1. Динаміка індексу BWI [2]



Рис. 2. Динаміка ціни на суднове паливо BW380, дол./т [2]

Рис. 1 ілюструє динаміку BWI – щоденного індексу, який розраховується на базі цін на судновий бункер у 20 ключових бункерних портах усього світу; основні сорти палива IFO380, IFO180, MDO і MGO включено до індексу пропорційно їх важливості на бункерному ринку.

Як вказано у щорічному огляді ЮНКТАД [1], «намагаючись зменшити витрати на паливо ..., перевізники протягом останніх років продовжують експлуатувати свої судна на занижених швидкостях (так званим «малим» ходом)». У згаданому джерелі наводиться приклад заощадження до 22000 дол. на добу за рахунок зменшення швидкості з 24 до 12 вузлів при експлуатації танкерів.

**Аналіз літератури.** Слід наголосити, що, якщо питання призначення швидкостей торговельним суднам, які використовуються у лінійному судноплаванні, тобто працюють на лініях, є доволі однозначним – тут основною метою є співвідносимість термінів доставки вантажу та швидкості руху судна, що встановлюються з урахуванням розкладу, за яким працюють судна, то проблема оптимізації швидкостей суден трампового судноплавання є вкрай актуальною. Проблеми оптимізації суден-контейнеровозів та суден лінійного судноплавання за різних умов експлуатації розглядалися у роботах [3-9], наразі проблемі обґрунтування швидкості руху суден, що працюють у трамповому режимі, присвячено ряд робіт вітчизняних [10-12] та іноземних авторів [13-15]. Втім, більшість з них (зокрема, [4; 6; 10-12; 16]) висвітлюють проблеми оптимізації швидкісних режимів роботи суден за існуювальною на той час економічною системою господарювання, що, зрозуміло, робить більшість висновків неактуальними сьогодні, або ж розглядають названу проблему як частину загальної задачі оптимізації строків доставки вантажів при організації транспортного обслуговування вантажопотоків.

Систематизацію існуючих швидкостей, на яких працюють судна торговельного флоту, запропоновано у [17], де детально викладено та пояснено існуючі визначення швидкостей суден. У згаданій роботі авторами стверджується, що визначення «оптимальної швидкості» у певному розумінні має ситуаційний характер – «требуемая необходимая для каждого случая скорость». Слід зазначити, що, на нашу думку, задача оптимізації швидкісних режимів роботи суден є вкрай актуальною саме для судновласників-перевізників, оскільки від правильного її вирішення, з урахуванням поточного стану ринка та умов виконання конкретного рейсу, залежить ефективність його діяльності. При цьому, як вже зазначалось, за умовами договорів рейсового фрахтування, терміни виконання рейсу не фіксуються жорстко – у рейсових чартерах є лише вимоги щодо руху судна «найкоротшим навігаційно рекомендованим курсом» «із розумною швидкістю». При рейсовому фрахтуванні суден це робить задачу визначення оптимальної швидкості руху судна задачею, яка одноосібно вирішується перевізником, залишаючи її поза контролем фрахтувальника-вантажовласника.

**Метою статті** є розробка інструментарію визначення оптимальної для судновласника швидкості руху судна, зафрахтованого на умовах рейсового фрахтування під перевезення вантажів. При цьому під оптимальною швидкістю у цій роботі розумітимемо таку її величину, за якої судновласник-перевізник отримуватиме максимальний добовий прибуток.

**Основний матеріал дослідження.** В основу міркувань покладено показник добового прибутку, який отримує судновласник, експлуатуючи судно у рейсі. Зрозуміло, що метою діяльності судновласника є отримання якомога більшого прибутку від експлуатації судна. Використання саме питомого показника, а не величини загального прибутку, пояснюється тим, що, широко розповсюджений у теоретичних дослідженнях та у практичній діяльності, він дозволяє забезпечити зіставленість рейсів різних тривалостей та відповідно оцінювати економічну ефективність діяльності судновласника у різних часових розрізах.

У загальному вигляді розрахункова формула добового прибутку має такий вигляд:

$$\mu = \frac{F - R_p}{t_p}, \quad (1)$$

де  $F$  – рейсовий дохід судновласника, дол.;  
 $R_p$  – загальні рейсові витрати, дол.;  
 $t_p$  – час рейса, діб.

Дохід судновласника у рейсі визначається величиною фрахту, який він заробить на перевезенні вантажів, а загальні рейсові витрати формуються сумою постійних витрат з судна, витрат на сплату судових зборів та бункерних витрат. Відповідно, (1) можна подати так:

$$\mu = \frac{F - R_{зб} - R_{пост} - R_{бунк}}{t_p}, \quad (2)$$

де  $R_{зб}$  – рейсові витрати на сплату судових зборів, дол.;  
 $R_{пост}$  – рейсова величина постійних витрат з судна, дол.;  
 $R_{бунк}$  – рейсові витрати на бункерування судна паливом, дол.

Враховуючи, що загальний час рейсу є сумою ходового та стояночного часу, а також, маючи на увазі використання судноплавними компаніями для визначення рейсової величини постійних витрат їх добового нормативу, формула (2) набуває такого розгорнутого вигляду:

$$\mu = \frac{f \cdot Q - R_{зб} - r_{пост}}{\frac{L}{V} + t_{см}} - \frac{Ц_n^{сеп} \cdot \left( k \cdot V^3 \cdot \frac{L}{V} \right)}{\frac{L}{V} + t_{см}}, \quad (3)$$

де  $f$  – погоджена судновласником-перевізником і фрахтувальником ставка фрахту, дол./т;  
 $Q$  – кількість перевезеного вантажу, т;  
 $R_{зб}$  – рейсові витрати на сплату портових зборів, дол.;

$L$  – відстань між портами здійснення рейсу, миль;

$V$  – швидкість руху судна, вузл.;

$t_{cm}$  – загальний стояночний час рейсу, діб;

$r_{пост}$  – добова величина постійних витрат з судна, дол.;

$\Pi_n^{cep}$  – середньозважена (за співвідношенням у споживанні) ціна палива, дол./т;

$k$  – коефіцієнт співвідношення добового споживання палива та швидкості руху судна, який визначається кубічною залежністю цих характеристик судна [11; 14]

$$k = \frac{q_n}{V^3}, \quad (4)$$

де  $q_n$  – споживання судном палива, т/добу.

У наведеній формулі (3) добовий прибуток подано у вигляді трьох складових, перша з яких прямо не залежить від часу рейсу, друга – існує у добовому вимірюванні сама по собі, а третя, яка власне і буде предметом дослідження у цій роботі, визначається часом рейсу, точніше – швидкістю руху судна у рейсі.

Продиференціювавши (3) відносно  $V$ , отримуємо

$$\begin{aligned} \frac{d(\mu)}{d(V)} = & \frac{Q \cdot f - R_{зб}}{\left(\frac{L}{V} + t_{cm}\right)^2} \cdot (-1) \left(\frac{-L}{V^2}\right) - \frac{\Pi_n^{cep} \cdot k \cdot V^2 \cdot L}{\left(\frac{L}{V} + t_{cm}\right)^2} \cdot (-1) \left(\frac{-L}{V^2}\right) - \\ & - \left(\frac{L}{V} + t_{cm}\right)^{-1} \cdot 2 \cdot \Pi_n^{cep} \cdot k \cdot L \cdot V = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Виконавши ряд перетворень (5), отримуємо наступні вирази:

$$V^2 = \frac{f \cdot Q - R_{зб}}{\Pi_n^{cep} \cdot k \cdot \left(3 \cdot L + 2 \cdot V \cdot t_{cm}\right)}, \quad (6)$$

$$V = \sqrt{\frac{f \cdot Q - R_{зб}}{\Pi_n^{cep} \cdot k \cdot \left(3 \cdot L + 2 \cdot V \cdot t_{cm}\right)}}. \quad (7)$$

Як можна переконатися, поява змінної  $V$  спостерігається з обох боків виразу. У [13] пропонується для визначення  $V$  використовувати ітераційну процедуру: на першому етапі замість змінної  $V$ , що знаходиться у правій частині, підставляється значення технічної швидкості судна. Далі отримане значення змінної  $V$ , що знаходиться у лівій частині,

знову підставляємо у праву – ітераційний процес необхідно проводити, доки різниця між значенням змінної  $V$  у лівій та правій частинах не стане безкінечно малою.

Якщо судно здійснює круговий рейс, складовою частиною якого є баластний перехід (що характерно, наприклад, за умови роботи суден послідовними рейсами), необхідно розширити формулу для знаходження добового валового прибутку, доповнюючи її відстанню, пройденою судном у баласті. Покладемо

$$q_{n_6} = k_1 \cdot V^3, \quad (8)$$

$$q_{n_n} = k_2 \cdot V^3, \quad (9)$$

де  $q_{n_6}$  і  $q_{n_n}$  – відповідно споживання судном палива на переході у баласті і із вантажем як функції відповідних швидкостей, т/добу;

$k_1$  і  $k_2$  – відповідно коефіцієнти переводу добового споживання палива та швидкостей із вантажем та у баласті.

Тоді, за виконання судном переходу у баласті як частини рейсу, розрахункова формула добового прибутку набуває такого вигляду:

$$\mu = \frac{f \cdot Q - R_{зб}}{\frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} + t_{cm}} - r_{ном} - \frac{\Pi_n^{cep} \cdot (k_1 \cdot V_1^2 \cdot L_1 + k_2 \cdot V_2^2 \cdot L_2)}{\frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} + t_{cm}}, \quad (10)$$

де  $L_1$  і  $L_2$  – відповідно, відстані, пройдені судном у баласті та із вантажем, миль;

$V_1$  і  $V_2$  – відповідно, швидкості руху судна у баласті та із вантажем, миль/добу.

Продиференціювавши відносно  $V_1$ , маємо

$$\begin{aligned} & (f \cdot Q - R_{зб}) - \Pi_n^{cep} \cdot (k_1 \cdot V_1^2 \cdot L_1 + k_2 \cdot V_2^2 \cdot L_2) - \\ & - 2 \cdot \Pi_n^{cep} \cdot k_1 \cdot V_1^3 \cdot \left( \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_2} + t_{cm} \right) = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Враховуючи, що

$$V_1 = K \cdot V_2,$$

де

$$K = \left( \frac{k_2}{k_1} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (12)$$

Після перетворень отримаємо

$$V_2 = \sqrt{\frac{f \cdot Q - R_{зб}}{C_n^{cep} \cdot k_2 \left( 3 \cdot \left( \frac{L_1}{K} + L_2 \right) + 2 \cdot V_2 \cdot t_{cm} \right)}} \quad (13)$$

Оскільки  $K \approx 1$ , маємо

$$V_2 = \sqrt{\frac{f \cdot Q - R_{зб}}{C_n^{cep} \cdot k_2 \cdot (3 \cdot L + 2 \cdot V_2 \cdot t_{cm})}} \quad (14)$$

Аналогічно,

$$V_1 = \sqrt{\frac{f \cdot Q - R_{зб}}{C_n^{cep} \cdot k_1 \cdot (3 \cdot (L_1 + K \cdot L_2) + 2 \cdot V_1 \cdot t_{cm})}} \quad (15)$$

Проаналізуємо вплив окремих параметрів на оптимальну швидкість судна на прикладі простого рейсу.

З отриманої формули (7) для знаходження оптимальної швидкості можна переконатися, що із збільшенням величини портових і каналних суднових зборів та плат, а також стояночного часу судна в порту, оптимальна швидкість судна зменшується. Наведені параметри, у свою чергу, визначаються розміром судна, характеризувати який можна його (судна) дедвейтом  $DW$ . У [10] подано результати досліджень, відповідно до яких

$$R_{зб} = a_0 (DW)^{\alpha_1}, \quad a_0 > 0, \quad 0 < \alpha_1 < 1. \quad (16)$$

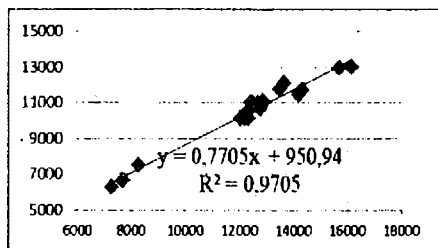
У свою чергу дедвейт прямо впливає на вантажопід'ємність судна  $D$ , його вантажомісткість  $W$ ,  $NRT$ ,  $BRT$  та умовний обсяг. Фрагмент дослідження статистичної залежності дедвейта та названих характеристик судна подано на рис. 3.

Результати досліджень дозволяють стверджувати, що

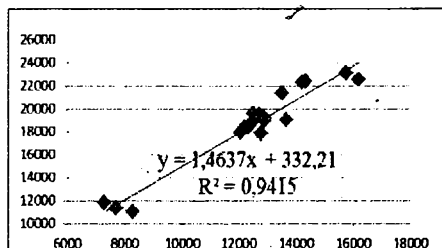
$$DW = b_0 + b_1 \cdot DW, \quad b_0, b_1 > 0, \quad (17)$$

$$W = c_0 + c_1 \cdot DW, \quad c_0, c_1 > 0. \quad (18)$$

Кількість пересезного вантажу  $Q$  визначається або вантажопід'ємністю або вантажомісткістю судна залежно від власне вантажу.



А) залежність  
вантажопід'ємності  
від дедвейту



Б) залежність  
вантажомісткості  
від дедвейту

Рис. 3. Фрагмент дослідження форми статистичного зв'язку між вантажопід'ємністю, вантажомісткістю та дедвейтом для універсальних суховантажних суден

Чиста вантажопід'ємність враховує рейсові запаси, величина яких залежить від відстані перевезення, а їх межові значення визначаються розміром бункерних приміщень, які також пов'язані із дедвейтом. Таким чином, справедливим є

$$Q = s_0 + s_1 \cdot DW - s_2 \cdot L, \quad s_0, s_1, s_2 > 0. \quad (19)$$

Основу стояночного часу рейсу судна складають вантажні операції, тому у подальших міркуваннях, не обмежуючи загальності, покладемо

$$t_{cm} = \frac{Q}{M^3} + \frac{Q}{M^P}, \quad (20)$$

де  $M^3$ ,  $M^P$  – відповідно норми завантаження та розвантаження, т/суднодобу. З урахуванням виразу  $Q$  за допомогою (19), (20) після перетворень придбає наступний вигляд:

$$t_{cm} = l_0 + l_1 \cdot DW - l_2 \cdot L, \quad l_0, l_1, l_2 > 0, \quad (21)$$

де  $l_0$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  отримані шляхом перетворення коефіцієнтів з (19) з урахуванням (20).

Фрахтова ставка  $f$  також визначається дедвейтом судна та відстанню перевезення. У [18] подано результати статистичних спостережень, згідно до яких фрахтова ставка та дедвейт мають такий зв'язок:

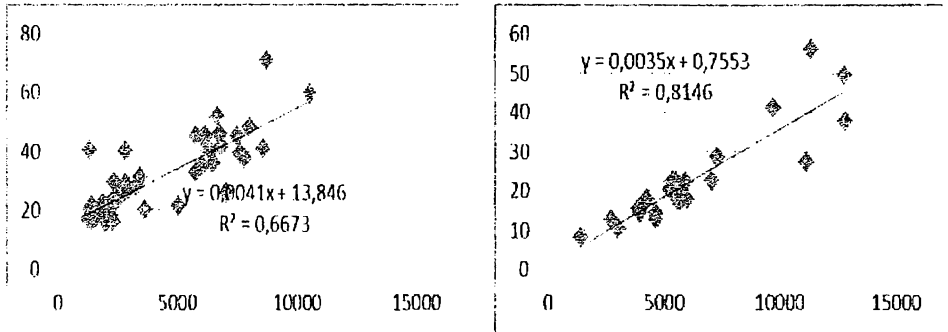
$$f = p_0 + p_1(DW) - p_2(DW)^2, \quad p_2 > 0, \quad (22)$$

тобто фрахтова ставка зростає в залежності від дедвейту з уповільненням.

Окрім того, фрахтова ставка рейсового чартера є статистично залежною від відстані перевезення, і ця залежність має такий вигляд:

$$f = g_0 + g_1(L), \quad g_0, g_1 > 0. \quad (23)$$

Основою такого висновку стали результати статистичних досліджень, фрагмент яких подано на рис. 4.



А) Залежність фрахтової ставки від відстані перевезень для суден дедвейтом 25-30 тис.т.

Б) Залежність фрахтової ставки від відстані перевезень для суден дедвейтом 60-70 тис.т.

Рис. 4. Фрагмент дослідження залежності фрахтової ставки від відстані перевезень для балкерів

(21) та (22) дозволяє розглядати фрахтову ставку, як функцію дедвейту та відстані перевезення.

Узагальнення викладених міркувань дозволяє подати (3) у вигляді функції дедвейта, відстані перевезення та швидкості

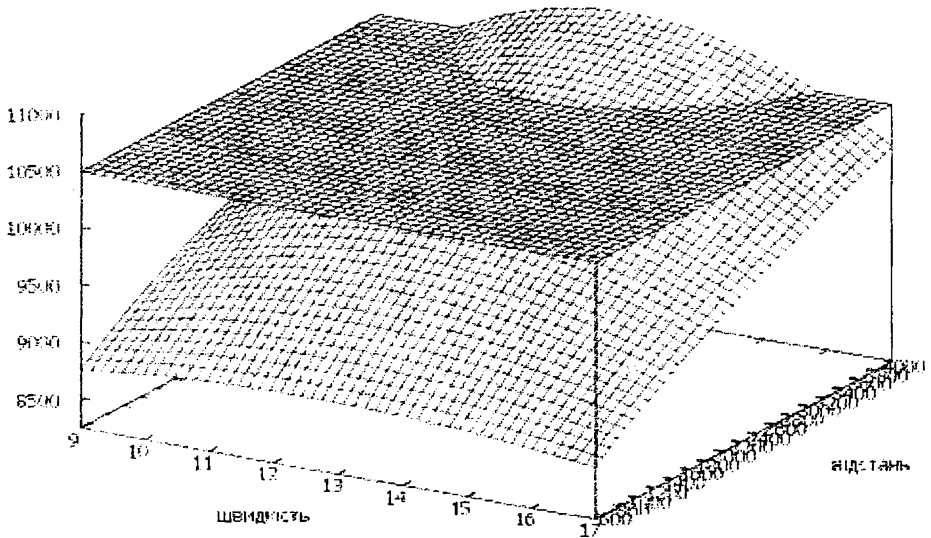
$$\mu(DW, L, V) = \frac{f(DW, L) \cdot Q(DW) - R_{36}(DW)}{\frac{L}{V} + t_{cm}(DW)} - r_{ном}(DW) - \frac{C_n^{cep}(k \cdot V^2 \cdot L)}{\frac{L}{V} + t_{cm}(DW)}. \quad (24)$$

При заданому дедвейті (тобто  $DW = \text{const}$ ), враховуючи (16)-(23), (24) набуде наступного вигляду:

$$\mu(L, V) = \frac{(g_0 + g_1 \cdot L) \cdot Q - R_{36} - C_n^{cep} \cdot (k \cdot V^2 \cdot L)}{\frac{L}{V} + t_{cm}(DW)} - r_{ном}. \quad (25)$$

Таким чином, для заданого судна за існуючої ціни на паливо проаналізуємо вплив відстані перевезення на оптимальну швидкість. На рис. 5 подано результати експериментальних розрахунків, які відображають (25) для визначеного судна та ринкової ситуації. Площина, яка відповідає рівню добового прибутку у 10500 дол. (яку визначимо як мінімально припустиму), дозволяє наочно продемонструвати для заданої відстані перевезення діапазон швидкостей, які забезпечують покладений припустимий рівень добового прибутку.





*Рис. 5. Залежність добового прибутку (дол./добу) від швидкості (вузл.) та відстані перевезення (миль) для балкера дедвейтом 20000 т*

Проведені експериментальні розрахунки та побудовані на їх підставі графіки дозволяють проаналізувати вплив відстані перевезення на оптимальну швидкість судна. Згідно до отриманих результатів, для заданого судна величина оптимальної швидкості незначно змінюється при зміні відстані перевезення. Так, на рис. 6 подано залежності добового прибутку від швидкості для різних відстаней перевезення. Як можна переконатися, зміна відстані перевезення практично удвічі не здійснила впливу на оптимальну швидкість. Статистичні дослідження дозволили встановити вид залежності добового прибутку від швидкості для заданої відстані перевезення (рис. 7), причому достовірність апроксимації практично дорівнює 1.

Наведені залежності можуть використовуватися як альтернатива викладеній вище ітеративній процедурі для знаходження оптимальної швидкості судна.

У ході експериментальних розрахунків також встановлено, що для заданого судна більш значним є вплив ціни палива на оптимальну швидкість (рис. 8).

Як можна переконатися, із зменшенням ціни палива значення оптимальної швидкості судна при заданій відстані перевезення збільшується. Таким чином, проаналізовано вплив різних параметрів на величину оптимальної швидкості судна.

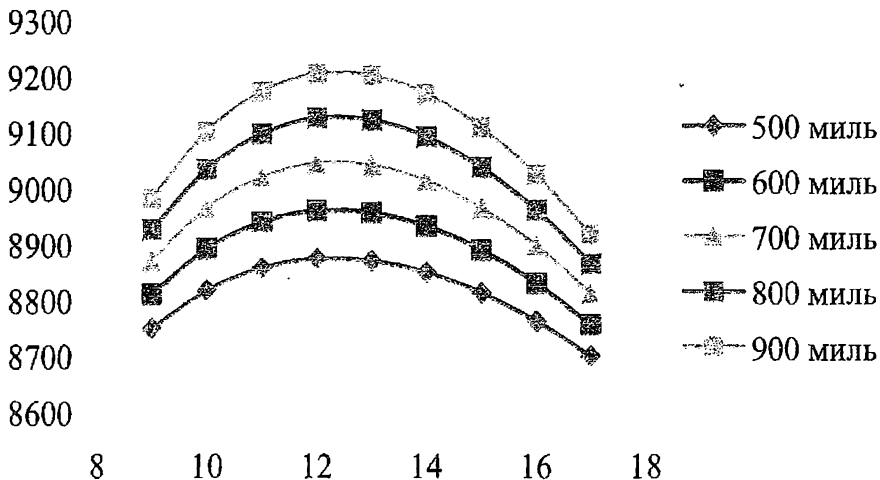


Рис. 6. Залежність добового прибутку (дол./добу) від дальності перевезення (миль) для балкера дедвейтом 20000 т

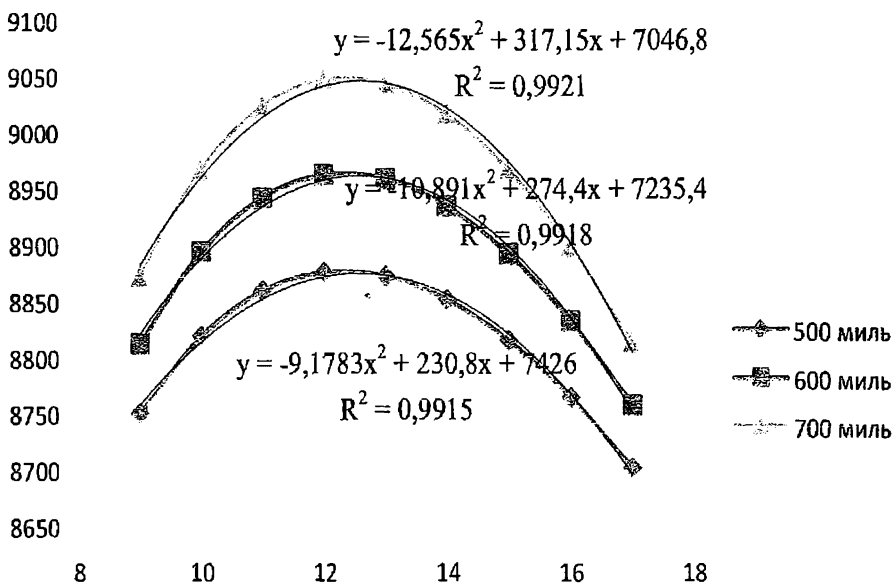
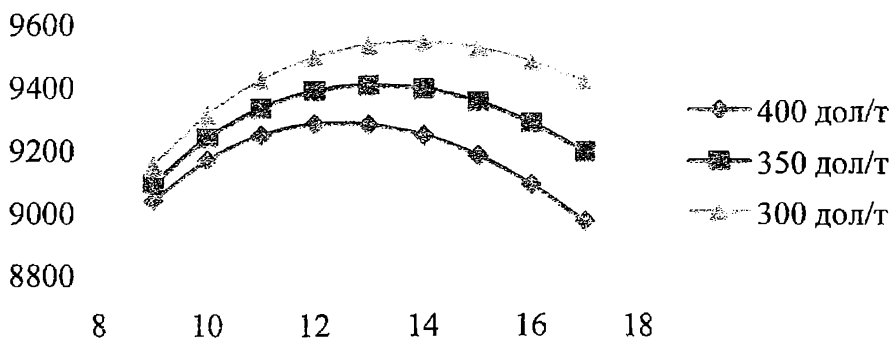


Рис. 7. Рівняння регресії залежності добового прибутку (дол./добу) від швидкості судна (вузл.)

Як **висновок** слід підкреслити, що запропонований підхід може використовуватися лише для суден, які працюють у режимі трампових перевезень, де перевізник вантажу (за умовами договору перевезення) не пов'язаний жорсткими умовами щодо терміну виконання перевезення.



Ціна, дол./т	Швидкість, вузл.						
	9	10	11	12	13	14	15
400	9037,8	9169,4	9249,1	9285	9283,3	9248,2	9183,2
350	9094,7	9240,9	9337	9391,1	9409,1	9395,6	9353,9
300	9151,5	9312,4	9424,8	9497,1	9535	9543	9524,6

Рис. 8. Залежність добового прибутку (дол./добу) від швидкості судна (вузл.) за різних усереднених цін на паливо

Наразі на думку авторів, варіювання швидкістю руху судна у рейсі є чи не єдиною реальною можливістю судновласника-перевізника підвищувати ефективність виконання рейсів, оскільки знаходиться під його повним контролем. При цьому, вочевидь, призначення судну «оптимальної» швидкості може відбуватися вже після укладання угоди (коли умови виконання рейсу вже погоджено та відповідно більш або менш точно зрозумілі доходи та витрати з виконання рейсу) та коригуватися з урахуванням поточних цін на суднове паливо.

Для визначення на практиці оптимальної швидкості руху судна у рейсі запропоновано підхід, у основу якого покладено використання знайдених статистичних залежностей її (швидкості) впливу на величину добового прибутку судновласника-перевізника.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. UNCTAD Review of Maritime Transport 2012. – Geneva: United Nations Publication, 2012. – 196 p.
2. Динаміка вартості бункеру [Електронний ресурс]: <http://www.bunkerworld.com/prices/bunkerworldindex/bwi>
3. Панарин П.Я. Организация работы линейного флота. – М.: Транспорт, 1980. – 190 с.

4. Краев В.И. Экономические обоснования при проектировании морских судов: Монография. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1981. – 280 с.
5. Союзов А.А. Организация и планирование работы морского флота. – М.: Транспорт, 1979. – 416 с.
6. Сырмай А.Г. Методика обоснования скорости хода и грузоподъемности морских судов. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 181 с.
7. Лапкина И.А. Определение оптимальной эксплуатационной скорости судов-контейнеровозов при изменении объемов перевозок на линии // Зб. наук. праць Одеського національного морського університету «Методи та засоби управління розвитком транспортних систем» / И.А. Лапкина, О.В. Акимова. – Одеса, 2011. – № 18. – С. 165-181.
8. Курлянд А.М. Об одном методе оптимизации тоннажа и скорости линейных судов // Зб. наук. праць Одеського національного морського університету «Методи та засоби управління розвитком транспортних систем» / А.М. Курлянд, С. Райя. – Одеса, 2002. – № 4. – С. 176-185.
9. Курлянд А.М. Метод оптимизации параметров судов, обеспечивающих океанско-фидерную систему доставки груза // Зб. наук. праць Одеського національного морського університету «Методи та засоби управління розвитком транспортних систем» / А.М. Курлянд, М.Я. Постан, И.В. Савельева. – Одеса, 2010. – № 18. – С. 7-17.
10. Раховецкий А.Н. Эффективность рейса морского судна. – М.: Транспорт, 1989. – 138 с.
11. Раховецкий А.Н., Герасимов А.В. Повышение эффективности перевозок и использования флота путем выбора оптимальной скорости хода судов // (Морской транспорт. Серия «Техническая эксплуатация флота»: Экспресс информация. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1982. – Вып. 13. – С. 15.
12. Дрозд Е., Капитонов И. Ходовой режим судов в зависимости от условий эксплуатации и тайм-чартера // Судоходство. – 1998. – № 6-7. – С. 73-74.
13. Jackowski K. Chosen economical aspects of vessel's operational speed / K. Jackowski // Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni. – 2012. – № 7. – P. 15-22.
14. Evans J.J. An analysis of efficiency of the bulk shipping markets / J.J. Evans // Maritime policy and management. – 1994. – Vol. 21. – № 4. – P. 311-329.
15. Evans J.J., Marlow P. Quantitative methods in maritime economics. 2<sup>nd</sup> edition. – Fairplay Publications. – 1990. – 146 p.

16. Полянцев Ю.Д., Кобринский Г.А. *Методы управления топливно-энергетическими ресурсами на морском транспорте.* – М.: Транспорт, 1983. – 136 с.
17. Шибасев А.Г. *Обоснование скорости судов при организации транспортного процесса (терминология, понятия, содержание)* / А.Г. Шибасев, О.В. Акимова // Сб. научн. трудов SWorld. – Вып. 3. – Т. 1. – Иваново: Изд-во МАРКОВА АД, 2014. – С. 89-91.
18. Онищенко С.П. *Моделирование процессов организации и функционирования системы маркетинга морских транспортных предприятий* / С.П. Онищенко. – Одеса: Фенікс, 2009. – 328 с.

*Стаття надійшла до редакції 19.05.2017*

**Рецензенти:**

кандидат технічних наук, професор, проректор з навчально-педагогічної роботи Одеського національного морського університету  
**В.В. Марков**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Морські перевезення» Одеського національного морського університету  
**О.Г. Шибасев**

УДК 629.12.004.67.006.3.001.63

Л.В. Мартынов, Л.В. Кошарская

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СУДОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*Отмечаются особенности производственного потенциала судоремонтных предприятий по сравнению с предприятиями других отраслей производства. Обосновывается выбор критериев оценки эффективности использования потенциала СРЗ и методов оценки эффективности его использования.*

**Ключевые слова:** основные производственные фонды, производственная мощность, судоподъемные сооружения, судоремонтные причалы, производственные цехи.

*Відмічаються особливості виробничого потенціалу судноремонтних підприємств у порівнянні з підприємствами інших галузей виробництва. Обґрунтовується вибір критеріїв оцінювання ефективності використання потенціалу СРЗ та методів оцінювання ефективності його використання.*

**Ключові слова:** основні виробничі фонди, виробнича потужність, суднопідйомні споруди, судноремонтні причали, виробничі цехи.

*It is noted the particulars of production potential of ship repair yards to compare with other fields of undertakings. There is the basis of estimation choice criterions of using efficiency ship repair yard potential and method of estimation it.*

**Keywords:** main production funds, production power, ship lifting equipment, ship repair berths, workshops.

**Постановка проблемы.** Судоподъемные предприятия Украины обладают значительным производственным потенциалом. Для оценки эффективности его использования нужны достоверные критерии, учитывающие специфику судоремонтного производства. Они разработаны и применялись для анализа производственной деятельности судоремонтных предприятий, ремонтирующих морской флот Украины [2; 3; 4]. Методы оценки производственного потенциала судоремонтных заводов использовались и при обучении студентов кораблестроительного и судомеханического факультетов ОНМУ [5; 6].

Поскольку эти методы, по мнению авторов, до сих пор являются дискуссионными, **задачей** настоящей статьи является ознакомление с ними специалистов морского транспорта, связанных с судоремонтом.

**Изложение основного материала.** Производственный потенциал любого промышленного предприятия можно охарактеризовать наличием и состоянием его основных производственных фондов (ОПФ), а также его производственной мощностью – способностью к максимальному выпуску продукции за год в соответствии со специализацией предприятия и режимом его работы.

Для правильной оценки использования производственного потенциала судоремонтного завода (СРЗ) необходимо отметить его особенности по сравнению с другими промышленными предприятиями.

Основное назначение СРЗ – ремонт судов. Во взаимосвязанной системе «флот – СРЗ» главной составляющей является флот, поскольку стоимость его ОПФ наибольшая, как и его значимость для народного хозяйства.

Если сопоставить стоимость ОПФ флота и обслуживающих его СРЗ, при условии полной загрузки последних, то, как показывают ранее проведенные исследования для Черноморско-Азовского бассейна [1], это соотношение будет порядка 10:1, то есть ОПФ флота не менее, чем на порядок больше, чем ОПФ СРЗ. Когда 1/10 часть обслуживает 9/10, то эффективность всей системы определяет эффективность этих 9/10, то есть флота. Поэтому правильно оценить эффективность функционирования 1/10 системы, а это СРЗ, нельзя без учёта их влияния на эффективность работы флота.

В реальной действительности экономические интересы флота и СРЗ не совпадают.

Судовладельцы, стремясь получить наибольшую прибыль от морских перевозок, пытаются снизить их себестоимость за счёт уменьшения расходов на судоремонт и, главное, за счёт увеличения эксплуатационного времени работы судов, а это требует минимизировать продолжительность нахождения судов в ремонте.

СРЗ как любые промышленные предприятия объективно заинтересованы в наибольшей стоимости своей основной продукции – судоремонта. Если завод достаточно полно загружен заказами судоремонта, то ему выгоднее, с точки зрения организации производства, равномерное распределение своих ресурсов на всех заказах, что не позволяет форсировать сроки выхода судов из ремонта.

В сравнительно недалёком прошлом, когда на морском флоте СРЗ подчинялись пароходствам, эти противоречия стремились устранять административными методами, разумеется, в пользу флота. Начальник пароходства приказывал директору СРЗ выпустить из ремонта такие-то суда в заданные сроки, невзирая на то, что для выполнения этого приказа завод должен нарушить сложившийся производственный ритм, перебросить людей с других объектов на более срочный заказ, что в конечном итоге приведёт к экономическим потерям для завода. Завод будет в итоге иметь меньшую прибыль, ухудшит свои экономические показатели, но для всей системы «флот-СРЗ» такие действия будут оправданы,

поскольку при этом экономическая эффективность всей системы увеличивалась.

В настоящее время, когда нет ни парокходств, ни должной загрузки СРЗ, тем не менее, вышеупомянутые противоречия между флотом и СРЗ также всегда разрешаются в пользу флота, но уже на основе рыночной конкуренции. Если несколько СРЗ хотят получить заказ на ремонт судна, то его получит тот завод, который предложит заказчику более приемлемые для него условия в части стоимости ремонта и его продолжительности.

Не выполнив условий заказчика-судовладельца, завод рискует остаться без заказов, что может иметь самые плачевные последствия для его существования.

Поэтому, если мы хотим правильно оценивать эффективность использования промышленного потенциала СРЗ, обязательно нужно учитывать специфику его предназначения – быть предприятием, обслуживающим флот.

Этому назначению соответствует и структура ОПФ СРЗ. Её особенностью по сравнению с машиностроительными или ремонтными предприятиями других отраслей является наличие в её составе дорогостоящих судоподъёмных сооружений (СПС) и судоремонтных причалов. Их стоимость составляет до 50 % стоимости ОПФ, тогда как в упомянутых отраслях промышленности доля сооружений не превышает 20 % общей стоимости ОПФ [1].

Для оценки эффективности использования производственного потенциала промышленного предприятия используются обобщающие и частные критерии эффективности.

В качестве обобщающего критерия эффективности использования ОПФ в первую очередь определяют показатель фондоотдачи – отношение стоимости валовой продукции предприятия за прошедший год работы к среднегодовой стоимости ОПФ.

Не отрицая значения этого показателя для сравнительной оценки завода за ряд лет, нельзя не отметить такого парадокса: больше фондоотдача будет у такого СРЗ, в производственной программе которого будет меньше судоремонта.

Кроме судоремонта, в структуре производственной программы СРЗ, могут присутствовать судостроение, машиностроение и прочие работы. Судоремонтные работы также разделяются на работы по заводскому ремонту судов, навигационный ремонт, изготовление СЗЧ, ремонт механизмов обменного фонда, работы нулевого этапа.

Все перечисленные работы имеют разную фондоемкость, то есть для их выполнения используются ОПФ разной стоимости. ОПФ наибольшей стоимости участвуют в выполнении работ заводского ремонта. Именно для него используются СПС и судоремонтные причалы, имеющие наибольшую стоимость. Фондоемкость заводского судоремонта наибольшая. Однако другие виды продукции, имеющие меньшую фондоем-



кость, в большей степени повышают показатель фондоотдачи. Поэтому фондоотдача выше на СРЗ, выполняющих большое количество работ по этим другим видам продукции.

Например, если сопоставить фондоотдачу работавших лет 10 тому назад одесских СРЗ «Украина» и СРЗ № 2, который не имел ни СПС, ни собственных причалов, то даже в то время, когда загрузка обоих заводов была наибольшей, фондоотдача СРЗ № 2 более чем в два раза превышала этот показатель на СРЗ «Украина». А эффективность работы СРЗ «Украина», если её рассматривать с точки зрения интересов флота, была значительно более высокой, так как этот завод выполнял все виды ремонта судов, включая доковые, которые не мог выполнять СРЗ № 2 [5].

Эти показатели характеризуют эффективность использования производственного потенциала СРЗ как вспомогательного звена в системе морского транспорта.

Еще раз отметим, что производственная мощность завода представляет собой максимально возможный годовой выпуск продукции в установленных для СРЗ показателях и номенклатуре при полном использовании оборудования и площадей. Чем лучше загружены оборудование и производственные площади, чем больше основной продукции – отремонтированных судов – выпускает СРЗ, тем в большей мере флот подготавливается к эксплуатации, что создаёт предпосылки для более эффективной его работы.

Таким образом, возможно более полное использование производственной мощности СРЗ не только характеризует загрузку ОПФ завода, что само по себе чрезвычайно важно для его успешного функционирования, но и косвенно связано с эффективностью использования фондов флота.

В качестве обобщающих критериев используются два показателя: использования производственной мощности СРЗ в целом и использования производственной мощности по судоремонту. Первый можно определить следующим образом

$$K = \frac{П}{M}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент использования производственной мощности СРЗ;

$П$  – годовой выпуск продукции СРЗ, согласно отчетным данным завода, в гривнах или в норма-часах;

$M$  – среднегодовая производственная мощность СРЗ в тех же измерителях.

Соответственно второй показатель будет таким

$$K_c = \frac{П_c}{M_c}, \quad (2)$$

где  $K_c$  – коэффициент использования производственной мощности по судоремонту;

$P_c$  – годовой выпуск продукции судоремонта согласно отчетным данным завода, в грн. или нормо-часах;

$M_c$  – среднегодовая производственная мощность по судоремонту, в грн. или нормо-часах.

Этот показатель в наибольшей мере, хотя и косвенно, связан с показателями эффективности использования ОПФ флота.

Действительно, если на СРЗ выпускается максимально возможное количество судоремонтной продукции, это означает, что создаются наиболее благоприятные условия для эффективной работы флота, поскольку наибольшее количество судов способно после ремонта полноценно работать (очистка корпуса повышает скорость хода, ремонт двигателей и винто-рулевого комплекса снижают расход топлива и смазки и т.п.).

Частные критерии эффективности использования ОПФ характеризуют степень использования отдельных наиболее важных групп ОПФ.

Для машиностроительных предприятий обычно рассчитывается напряженность использования оборудования – отношение объема продукции к количеству единиц оборудования основного производства, а также напряженность использования площадей – отношение объема производства к общей (или производственной) площади рассматриваемого предприятия (или цеха).

Определяются также коэффициенты использования различных видов или групп наличного оборудования как отношение количеств (или мощностей) фактически работающего оборудования различных видов (групп) к количествам (или мощностям) всего наличного оборудования этих видов (групп).

Для СРЗ, учитывая особенности судоремонтного производства, отмеченные выше, наиболее характерными, а также наибольшими по стоимости из всех групп ОПФ являются судоремонтные причалы и СПС.

Другой важной группой ОПФ, определяющей производственную мощность СРЗ, является комплекс основных производственных цехов: механосборочного, корпусного и трубопроводного.

В качестве критериев эффективности работы этих групп ОПФ могут служить коэффициенты использования пропускной способности судоремонтных причалов и СПС, определяемые следующим образом:

$$K_{np} = \frac{P - P_{СПС}}{M_{np}} \quad (3)$$

где  $K_{np}$  – коэффициент использования пропускной способности причалов;

$P$  – годовой объем продукции заводского судоремонта, нормо-ч.;

$P_{СПС}$  – годовой объем продукции заводского судоремонта, выполненный на СПС, нормо-ч.;

$M_{np}$  – пропускная способность судоремонтных причалов в год, нормо-ч.

Отметим, что под заводским судоремонтом здесь понимаются работы по ремонту судов, находящихся на акватории завода, у причалов или на СПС.

$$K_{СПС} = \frac{П_{СПС}}{M_{СПС}}, \quad (4)$$

где  $K_{СПС}$  – коэффициент использования пропускной способности СПС;  
 $M_{СПС}$  – пропускная способность в год, норма-ч.

Таким образом, сопоставляется нормативная пропускная способность судоремонтных причалов и СПС с фактическими данными годового объема продукции заводского судоремонта, выполненного на СПС и у причалов завода.

Для оценки степени использования СПС и судоремонтных причалов разработаны специальные нормативы годового съема продукции с 1 стапельного места судоподъемного сооружения и со 100 м погонной длины причала, используемые для расчёта производственной мощности СРЗ.

В качестве частных критериев эффективности ОПФ основных цехов для судоремонтного предприятия целесообразно применять показатели использования производственной мощности следующих производственных подразделений: станочного и слесарного отделений механосборочного цеха, корпусного и трубопроводного цехов.

По всем перечисленным цехам (отделениям) коэффициент использования производственной мощности ( $K_{ц}$ ) определяется выражением

$$K_{ц} = \frac{П_{ц}}{M_{ц}}, \quad (5)$$

где  $П_{ц}$  – производственная программа цеха за отчетный год;

$M_{ц}$  – производственная мощность цеха (отделения).

Для определения производственной мощности цеха используются нормативы съема продукции с 1 станка (для станочного отделения) и с 1 м<sup>2</sup> общей площади (для остальных цехов). Нормативы съема продукции в станко-часах с 1 станка учитывают нормативный фонд времени работы станка при двухсменной работе и установленный нормами технологического проектирования коэффициент загрузки станков в условиях судоремонтного производства.

Для определения норматива съема нормативной трудоемкости с 1 м<sup>2</sup> общей площади цеха находится базовый норматив по формуле

$$H = \frac{(RK_{с.н} K)}{F}, \quad (6)$$

где  $R$  – нормативный годовой фонд времени 1 производственного рабочего соответствующего цеха;

$K_{св}$  – коэффициент сменности производственных рабочих, принимаемый для всех цехов равным 1,7;

$K$  – коэффициент перехода от нормативной трудоемкости к фактической для данного цеха;

$F$  – нормативная площадь на 1 производственного рабочего данного цеха в наибольшую смену, м<sup>2</sup>.

**Вывод.** Приведенные методы оценки эффективности использования производственного потенциала СРЗ могут применяться как для анализа работы предприятий, так и для учебных целей. Например, они использовались в учебнике для кораблестроительной специальности «Основы проектирования судноремонтных підприємств», рекомендованном к печати, в соответствии с решением учёного Совета ОНМУ № 10 от 28.05.2014 г.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мартынов Л.В. Эффективность использования основных производственных фондов судоремонтных заводов / Л.В. Мартынов. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1979. – 52 с.
2. Кошарская Л.В., Мартынов Л.В. Техническая характеристика судостроительных и судоремонтных баз юга Украины / Л.В. Кошарская, Л.В. Мартынов. – Одесса: ОНМУ, 2004. – 25 с.
3. Мартынов Л.В. Производственный потенциал судоремонтных заводов и его использование: Учебное пособие. – Одесса: ОНМУ, 2008. – 40 с.
4. Никифоров Ю.О. Організація виробничого процесу на підприємстві. – Одеса: ОНМУ, 2013. – 62 с.
5. Мартынов Л.В. Основы проектирования судоремонтных предприятий: Учебное пособие. – Одесса: ОНМУ, 2011. – 91 с.

Стаття надійшла до редакції 22.05.2017

### Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-організаційної роботи Одеського національного морського університету  
**А.В. Шахов**

доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри «Підприємництво та економіко-математичне моделювання» Одеського національного морського університету **Г.С. Махуренко**

УДК 005.8:004.01

И.Н. Богатенко

### МЕТОД ОЦЕНКИ ЗРЕЛОСТИ КОМАНДЫ ПРОЕКТА

*В статье анализируются результаты выполнения проектов в различных сферах экономики и обоснованно доказано, что более двух третей проектов не достигают цели. Причиной неудач является человеческий фактор. В статье предложен метод определения ценности команды на основе построения лепестковой диаграммы зрелости.*

**Ключевые слова:** зрелость команды проекта, лепестковая диаграмма, управление командой проекта.

*У статті аналізуються результати виконання проектів в різних сферах економіки і обґрунтовано доводиться, що більше двох третин проектів не досягають поставлених цілей. Причиною невдач виступає людський фактор. У статті запропоновано метод визначення цінностей команди на основі побудови пелюсткової діаграми зрілості.*

**Ключові слова:** зрілість команди проекту, пелюсткова діаграма, управління командою проекту.

*The article analyzes the results of implementation of projects in various spheres of the economy and reasonably proved that more than two-thirds of the projects do not achieve the goal. The cause of failure is the human factor. The article proposes a method for determining the value of a team based on the construction of a tabular maturity diagram.*

**Keywords:** maturity of the project team, the petal diagram, project team management.

**Введение.** Анализ статистических данных по версии foynes [1] свидетельствует, что из общего числа запланированных проектов доля успешных составляет 36 %, провальных – 16 %, спорных – 48 %. Таким образом, около ¼ проектов не достигли поставленных целей. Основной причиной неудач большинство экспертов считает человеческий фактор. Следовательно, одной из ключевых составляющих проектно-ориентированного управления следует считать управление человеческими ресурсами.

В соответствии с [2] управление человеческими ресурсами состоит из следующих этапов:

- разработка плана управления человеческими ресурсами – процесс определения и документирования ролей, ответственности, требуемых навыков и подотчетности, а также создания плана управления обеспечением проекта персоналом;

- набор команды проекта (далее КП) – процесс подтверждения доступности человеческих ресурсов и набора команды, необходимой для выполнения задач по проекту;

- развитие КП – процесс повышения квалификации членов команды проекта, улучшение взаимодействия между ними и общих условий работы команды с целью повышения эффективности выполнения проекта;

- управление КП – процесс контроля эффективности деятельности членов команды, обеспечения обратной связи, решения проблем и управления изменениями, направленный на оптимизацию выполнения проекта.

**Анализ достижений и источников.** Выходя из вышесказанного, ключевой задачей является формирование команды проекта. Опираясь на РМВОК [2], «команда проекта состоит из людей, которым определены роли и ответственность за выполнение проекта.

По мере выполнения проекта профессиональный и численный состав команды проекта может часто меняться». Формирование команды – это создание открытой, поддерживаемой участниками проекта, эффективной, функциональной, скоординированной группы.

Данную проблему не раз поднимали такие ученые, теоретики, практики как Доценко Н.В., Сабадош Л.Ю., Чумаченко И.В. [3], Иванов В.В. [4].

В их работах предлагаются различные модели и методы формирования проектных команд с учетом различий в типах и целях проектов. В тоже время на сегодня не разработан инструментарий, позволяющий комплексно оценить КП, и не определен показатель эффективности такой команды.

Методология управления проектно-ориентированными организациями оперирует понятием зрелости компании, как критерием ее подготовленности к проектной деятельности. На наш взгляд, по аналогии можно ввести термин зрелости КП

**Постановка цели и задач.** Целью данной статьи является разработка метода определения зрелости КП на стадии ее формирования. Достижение поставленной цели требует комплексного решения ряда задач:

- формулировка понятия зрелости КП и ее составляющих;
- на основании лепестковой диаграммы формирования зрелости «идеальной» КП, учитывающей важности составляющих зрелости;
- разработка метода оценки зрелости реальной КП.

**Материалы исследования.** Под зрелостью КП в дальнейшем будем понимать совокупность технических, контекстуальных и поведенческих компетенций всех участников проектной команды с учетом синергетического эффекта от их совместной деятельности.

Зрелость КП включает знания, умение, опыт и психологическую совместимость (командную и индивидуальную).

Знание (от лат. *lore*) – это полученная определенным способом и упорядоченная некоторым образом информация, которая с различной степенью достоверности и объективности отражает в сознании человека те или иные свойства существующей действительности.[5] В команде знаниями может обладать один человек, а может и вся команда.

Умение (от лат. *skill*) – выполнение действия (дела, задачи) с надлежащим качеством [6]. Умение команды зависит от всех участников и это индивидуальный параметр, т.к. каждый член команды должен уметь выполнять свою работу.

Опыт (профессиональный) (от лат. *experience*) – это распределенная человеком область общественной практики (прежде всего одного из видов профессиональной деятельности) и представленная в субъективированных (профессия, специализация, специальность) и объективированных формах (должность, рабочее место) [7].

Психологическая совместимость (от лат. *compatibility*) – характеристика длительного взаимодействия между двумя и более индивидами, при котором проявления свойственных данным индивидам устойчивых черт характера не приводят к длительным и неразрешимым без внешнего вмешательства противоречиям [8].

Для определения зрелости как комплексного параметра предлагаем использовать лепестковую диаграмму (рис.1).

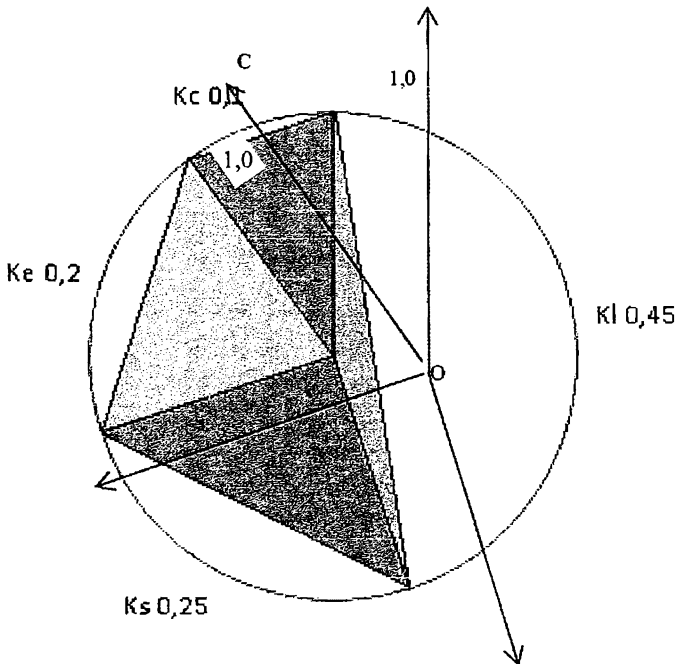


Рис. 1. Лепестковая диаграмма «идеальной» команды

Для построения лепестковой диаграммы определим методом экспертных оценок коэффициенты важности каждой из составляющих ценностей:

- знаний –  $k_j$ ;
- опыта –  $k_e$ ;
- умений –  $k_s$ ;
- совместимости –  $k_c$

Сумма коэффициентов важности  $\sum_{i=1}^{n=4} k_i = 1$ .

На рис. 1 изображен пример лепестковой диаграммы, определяющей зрелость «идеальной» КП. Если в классической лепестковой диаграмме все углы между осями равны, то в нашем случае они пропорциональны значениям коэффициентам важности, соответствующих составляющих зрелости.

Для идеальной команды примем значения составляющих зрелости  $L=E=S=C=1$ . Тогда величина зрелости может быть определена, как площадь четырехугольника (см. рис.1). В процессе расчета площади возможны три случая.

Случай 1. Значения всех коэффициентов важности  $k_i < 0,5$ .

Как видно из рисунка 1 «четыреугольник зрелости» состоит из 4 треугольников и его площадь может быть определена по формуле

$$S_{LSEC} = S_{OLS} + S_{OSE} + S_{OEC} + S_{OCL} \quad (1)$$

Площадь этих треугольников находится по формуле

$$S_{\Delta} = \frac{1}{2} ab \sin \alpha, \quad (2)$$

где  $a, b$  – стороны треугольника;

$\alpha$  – угол между ними.

Учитывая, что стороны треугольников  $OL=OS=OC=OE=1$  в «идеальной» команде равны единице, формула площади четырехугольника примет вид

$$S_{LSEC} = \frac{1}{2} (\sin \alpha + \sin \beta + \sin \gamma + \sin \delta) \cdot \quad (3)$$



Случай 2. Один из коэффициентов важности  $k_i = 0,5$ .

При таком коэффициенте «четырёхугольник зрелости» состоит из трех треугольников (рис. 2).

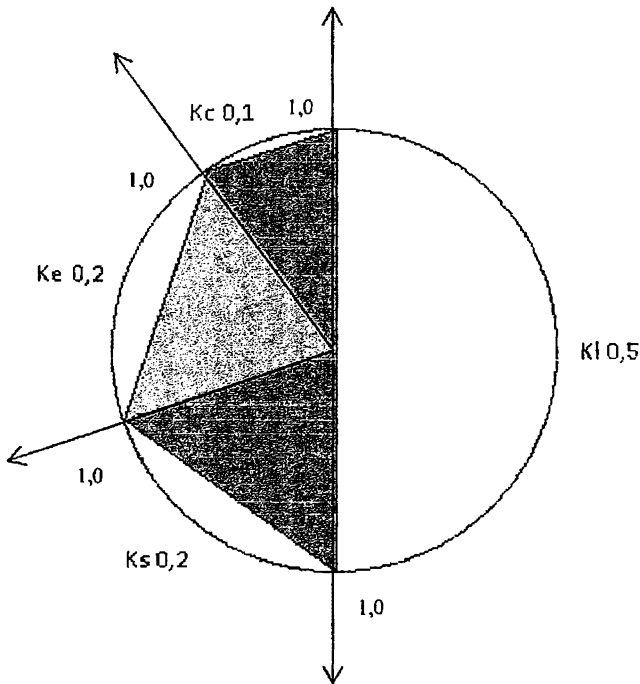


Рис. 2. Лепестковая диаграмма зрелости при  $k_i = 0,5$

Расчет площади четырехугольника также проводится по формулам (1), (2) и (3).

Третий случай. Если один из коэффициентов важности  $k_i > 0,5$ .

При таком коэффициенте важности диаграмма будет выглядеть так, как это показано на рис. 3.

В этом случае, площадь «четырёхугольника зрелости» составит

$$S_{LSEC} = S_{OSE} + S_{OEC} + S_{OCL} - S_{OLS} \quad (4)$$

или

$$S_{LSEC} = \frac{1}{2}(\sin \alpha + \sin \beta + \sin \gamma - \sin(\alpha + \beta + \gamma)) \quad (5)$$

Реальные КП имеют значения составляющих зрелости меньше или равны единицы, а углы определяющие важность каждой составляющей такие же. Поэтому «четырёхугольник зрелости»  $L_1S_1C_1E_1$  реальной КП будет выглядеть так, как показано на рис. 4.

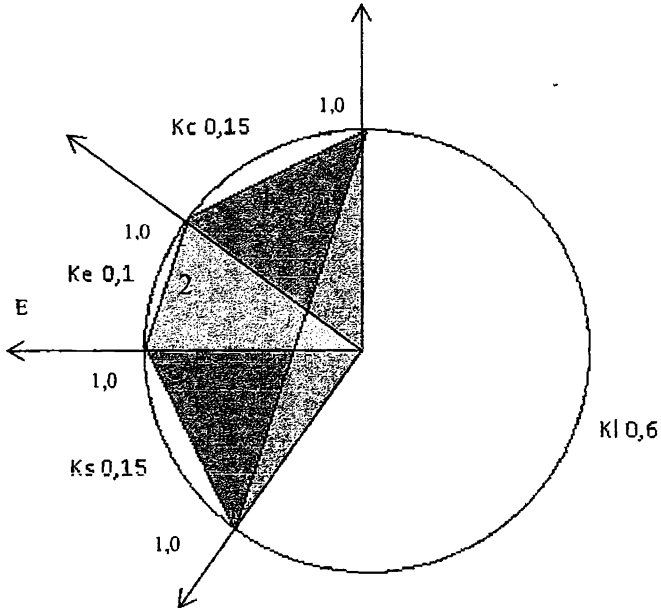


Рис. 3. Лепестковая диаграмма зрелости при одном из коэффициентов важности больше 0,5

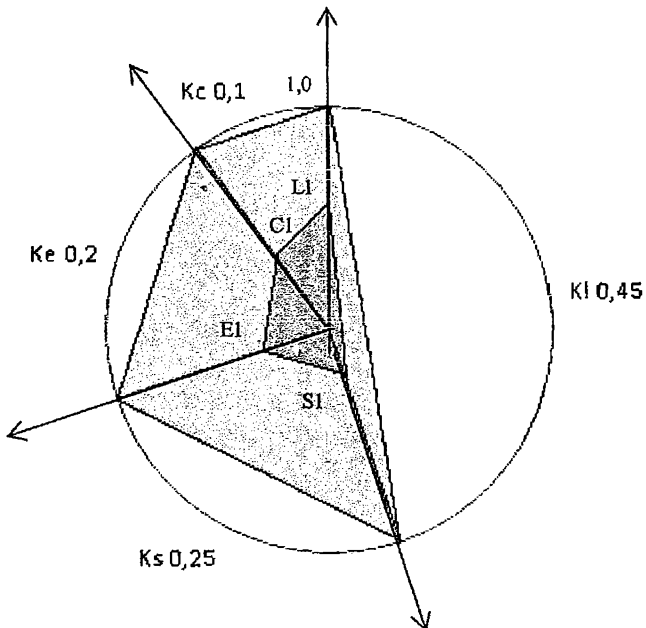


Рис. 4. Сравнение «идеальной» и реальной КП

Площадь четырехугольника  $S_{LISEIC1}$  определяется аналогично площади четырехугольника  $S_{LSEC}$  для каждого из трех случаев.

Зрелость реальной КП составит

$$Z = \frac{S_{L1S1E1C1}}{S_{LSEC}} \quad (6)$$

Представленный метод реализован в среде MSExcel.

**Вывод.** Разработанный метод позволит на стадии формирования команды оценить ее зрелость, при необходимости внести коррективы в состав участников, что повысит вероятность успешной реализации проекта.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Эмеритус Статистика успешности ИТ-проектов. Отчёт The Standish Group. [электронный ресурс] // Foykes.com – Маркетинг, инфографика и дизайн. – М., 2005-2017 (дата обращения: декабрь 2016-март 2017). URL: <http://foykes.com/statistika-uspeshnosti-it-proektov/>*
2. *Project Management Institute PMBOK 4. Campus Boulevard, Newtown, square. – Pennsylvania 19073-3299. – 2008. – 496 с.*
3. *Чумаченко И.В., Доценко Н.В., Сабодош Л.Ю. Методы управління людськими ресурсами при формуванні команд мультипроектів та програм. – Харків: ХНУМГ ім. О. М.Бекетова, 2015. – 270 с.*
4. *Иванов В.В. Формирование команды проекта обратного инжиниринга. – Одесса: Изд-во Бахва, 2015. – 153 с.*
5. *Симонов А.В. Знание. Гуманитарная энциклопедия [Электронный ресурс] // Центр гуманитарных технологий, 2010-2016 (последняя редакция: 30.10.2016). URL: <http://gtmarket.ru/concepts/7283>*
6. *Умение. Психологос [Электронный ресурс] // Психологос – энциклопедия практической психологии, 2009-2017 (дата обращения: январь 2017). URL: <http://www.psychologos.ru/articles/view/umenie>*
7. *Профессиональный опыт [Электронный ресурс] // Национальная психологическая библиотека (дата обращения: февраль 2017). URL: <http://vocabulary.ru/termin/professionalnyi-opyt.html>*

8. *Психологическая совместимость [Электронный ресурс] // Материал из Википедии – свободной энциклопедии, (Последнее изменение этой страницы: 18:23, 24 января 2017). URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Психологическая\\_совместимость](https://ru.wikipedia.org/wiki/Психологическая_совместимость)*
9. *Лекция 7: Зрелость проектных организаций. Методология СММ [Электронный ресурс] // НОУ «ИНТУИТ», 2003-2017 (Последнее изменение этой страницы: 24.05.2012). URL: <http://www.intuit.ru/studies/courses/2298/598/lecture/12857>*

*Стаття надійшла до редакції 22.05.2017*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-організаційної роботи Одеського національного морського університету  
**А.В. Шахов**

кандидат економічних наук, старший викладач кафедри «Комерційне забезпечення транспортних процесів» Одеського національного морського університету **Н.В. Судник**

УДК 656.61.052

А.Д. Пипченко

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСТАНЦИИ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ ПРИ РАСХОЖДЕНИИ МАНЕВРОМ СОБСТВЕННОГО СУДНА

*В статье предложен метод определения минимальной дистанции, на которой можно совершить маневр последнего момента одним судном. Данная задача решается относительно расчетной точки столкновения. Показано, что эта минимальная дистанция зависит от угла пересечения курсов, параметров маневра и размеров судов. В свою очередь, минимальное расстояние между судами зависит от расстояния до расчетной точки столкновения и скоростей сближающихся судов.*

*Ключевые слова:* МППСС, расхождение судов, маневр последнего момента, опасное сближение.

*У статті запропоновано метод визначення мінімальної дистанції, на якій можна зробити маневр останнього моменту одним судном. Дана задача вирішується відносно розрахункової точки зіткнення. Показано, що ця мінімальна дистанція залежить від кута перетину курсів, параметрів маневру і розмірів суден. У свою чергу, мінімальна відстань між суднами залежить від відстані до розрахункової точки зіткнення і швидкостей зближуються суден.*

*Ключові слова:* МППСС, розходження суден, маневр останнього моменту, небезпечне зближення.

*This paper proposes a method for determining the minimum distance at which vessel can perform the emergency collision avoidance maneuver. The problem solved relatively to the estimated point of collision. Studied distance depends on the angle of headings intersection, the maneuver parameters and the vessels dimensions. The minimum distance between vessels depends on a distance to an estimated point of collision and their speeds.*

*Keywords:* COLREG, collision avoidance, emergency maneuver, close quarters.

**Вступлення.** Столкновение судов является одной из самых серьезных навигационных аварий. Последствиями столкновений часто являются загрязнение окружающей среды, потеря судна, гибель людей. Согласно данным Европейской ассоциации морской безопасности только в водах Евросоюза за последние пять лет произошло 1352 столкновения. При этом среди аварий приведших к значительному загрязнению, потере судна или гибели людей столкновения занимают третье место.

Проблема оценки опасности столкновения не является новой и была изучена большим количеством авторов. Рост интенсивности судоходства с одной стороны и технологический прогресс с другой обуславливают появление более совершенных методов оценки опасности столкновения и поддержки принятия решений судоводителей.

Анализ расследований столкновений, показывает, что в большинстве случаев аварии происходили либо в результате неправильно принятого судоводителем решения, либо ввиду недостаточной оценки ситуации. Часто прослеживается ситуация, когда судоводители продолжают вести радиопереговоры, несмотря на то, что столкновения уже не избежать [2; 4].

Это, в свою очередь, означает, что судоводители не осознают наступления ситуации *маневра последнего момента* (МПМ). «Последний момент» практически характеризует порог времени, после прохождения которого столкновение произойдет независимо от предпринимаемых действий.

Исследования и рекомендации по определению «последнего момента» приведены в ряде публикаций [2; 4; 6; 7; 8; 9].

В статье [7] показана математическая модель для ситуации сближения судов на пересекающихся курсах. В работе [7] даны методы расчета геометрических параметров маневра и рекомендации по выбору МПМ: циркуляция на левый или правый борт, торможение. В работе [8] предложен эмпирический способ оценки ситуации опасного сближения.

Однако, в этих публикациях при расчете геометрических параметров маневра значение скорости маневрирующего судна считается постоянным, в то время как на циркуляции скорость уменьшается практически в два раза, что влияет и на время и на дистанцию расхождения. Размеры судов, также имеют критическое значение при расхождении на близких дистанциях, особенно при учете того, что современные крупнотоннажные суда достаточно часто имеют длину 300-400 метров. Наиболее корректно это учтено в работе [6], где столкновение определяется из условия пересечения двух геометрических областей, характеризующих суда. При этом все расчеты в работе [6] получены в истинном движении, а основным параметром при расчетах является минимальная дистанция между судами. В таком случае значительно увеличивается количество возможных сценариев развития ситуации расхождения, что, соответственно, приводит к значительному увеличению итераций и ухудшению точности в работе алгоритма определения вероятности столкновения.

В работе [8] оценка опасной ситуации производится относительно предполагаемой точки столкновения, что является более корректным, однако функция определения минимальной дистанции до этой точки зависит только от длины и скорости судна, что не позволяет учесть его маневренные характеристики.

Определение «последнего момента» и «дистанции опасного сближения» является важным не только для того, чтобы обозначить судоводителю момент начала выполнения аварийного маневра, но и, в зависимости от маневренных свойств и размеров судна, произвести оценку ситуации в целом и определить безопасную дистанцию и время кратчайшего сближения, что на сегодняшний день является возможным благодаря данным получаемым с АИС (автоматической идентификационной системы).

**Задачей** данного исследования является разработка метода определения минимальной дистанции опасного сближения при расхождении маневром собственного судна.

**Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** В правилах по предотвращению столкновений COLREGS [3] приведен термин close quarters – *опасное сближение*. Однако, официальное определение этому термину в публикациях ИМО не приводится.

Логично заключить, что МПМ производится в ситуации опасного сближения судов, при этом *последний момент* – момент времени, после которого столкновение произойдет независимо от предпринимаемых действий.

Отсюда, *маневр последнего момента (МПМ)* – маневр, приводящий к расхождению судов на кратчайшей дистанции стремящейся к нулю.

МПМ можно разделить на два вида:

- *одиночный* – маневр, совершаемый одним судном, при условии, что другое сохраняет курс и скорость;

- *взаимный* – маневр, совершаемый обоими судами.

Схема выполнения МПМ показана на рис. 1.

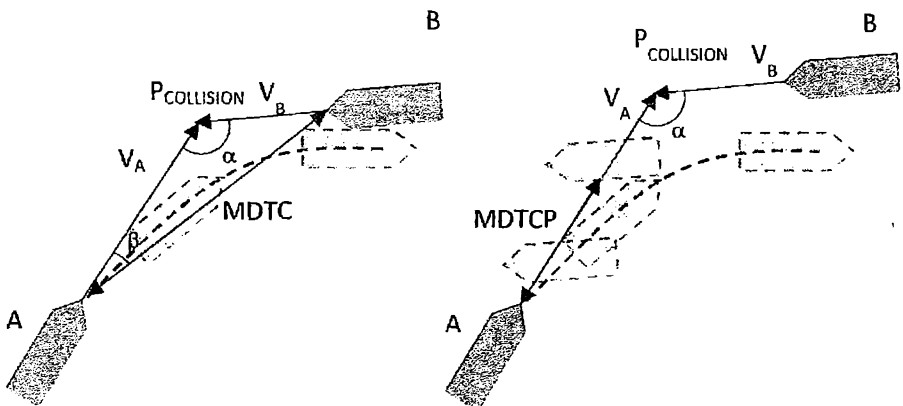


Рис. 1. Маневр последнего момента. Слева – истинное движение. Справа – определение MDTCP путем удаления судна B по курсу судна A

В случае программной реализации алгоритма оценки опасности столкновения с учетом размеров судна справедливо будет следующее:

Лемма 1: *опасность столкновения* существует, если курсовой угол  $\beta$  на другое судно с течением времени не меняется, при скорости сближения судов  $V_{\text{COLLISION}}$  не равной нулю.

Лемма 2: *столкновение* судов А и В, определенных соответствующими множествами точек наступает, когда  $A \cap B$ .

Если суда маневрируют, тогда *столкновение* судов А и В, определенных соответствующими множествами точек наступает, когда геометрические множества точек их траекторий  $AA \supset A$  и  $BB \supset B$  пересекаются:  $AA \cap BB$ .

При условии, что после начала выполнения маневра судно не изменяет заданные параметры управления (например, угол перекладки руля или обороты винта), его траектория на тихой воде будет неизменной.

Также следует учитывать следующее:

- Маневр циркуляции является гораздо более эффективным, чем маневр активного торможения. Так выдвиг на циркуляции согласно стандартам ИМО [5] должен быть не более 4.5-5L (L – длина судна), в то время как дистанция активного торможения должна быть не более 15-20L.

- Параметры циркуляции с установившегося режима хода мало зависят от скорости судна [4]. Так разница между выдвигом на полном ходу и малом ходу составляет около 10-15 %.

В статье [6] авторы применяют модели динамики судов без учета возмущающих воздействий. Суда удаляются друг от друга пока их траектории и советующие геометрические множества относительно этих траекторий не будут пересекаться. Минимальное расстояние между судами MDTС (minimum distance to collision) является функцией скорости взаимного сближения судов  $V_{\text{COLLISION}}$ , угла пересечения курсов  $\alpha$ , массива параметров маневра М и размеров судов

$$\text{MDTC} = f(V_{\text{COLLISION}}, \alpha, M, BB, AA).$$

Массив М характеризует параметра управления судном в самом общем случае – угол перекладки руля  $\delta$  и режим хода  $n$ .

Если  $\alpha = 0$  – курсы судов совпадают, если  $\alpha = 180$  – курсы судов противоположны.

Такой подход не позволяет получить однозначного решения задачи, так как при одном значении MDTС, но различных скоростях сближения судов, опасности столкновения может не быть.

При условии постоянства траекторий обоих судов задачу определения MDTС необходимо решать относительно точки предполагаемого столкновения, изначально определяя дистанцию до этой точки MDTСP (*minimum distance to a collision point*).



MDTCP – минимальная дистанция до расчетной точки столкновения, на которой планируемый маневр будет эффективным; геометрически определяется как расстояние между ближайшими к друг другу точками множеств А и В.

*Теорема.* Если опасность столкновения существует и маневр предпринимается одним судном, для одного значения минимальной дистанции до точки столкновения MDTCP ( $\alpha, M, B, AA$ ) существует множество MDTC ( $V_A, V_B$ ).

В случае одиночного маневра судно-цель сохраняет свои курс и скорость. Таким образом, справедливо утверждение, что независимо от маневра судна А судно В окажется в предполагаемой точке столкновения  $P_{COLLISION}$  с курсом  $\psi_B$ .

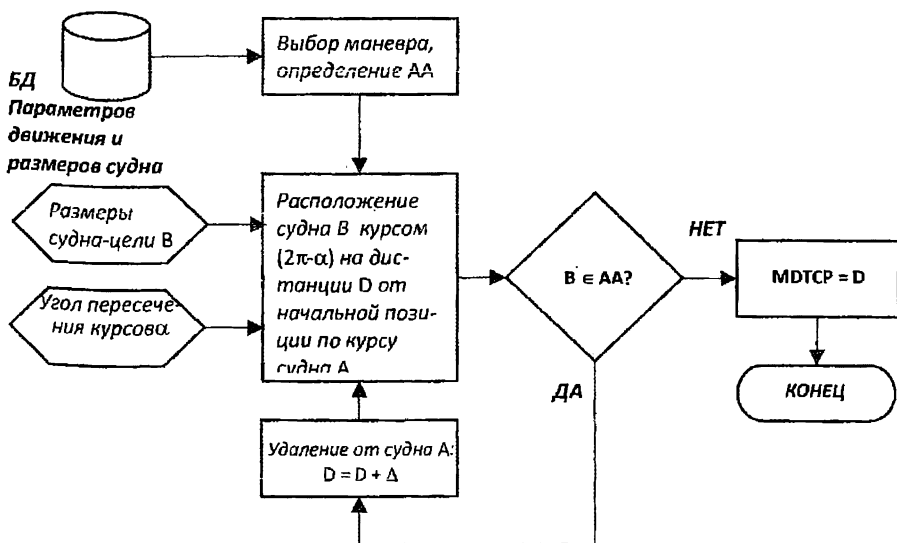


Рис. 2. Блок-схема алгоритма программы определения MDTCP

Для того чтобы найти MDTCP, задача решается инверсным способом от момента столкновения (рис. 2). Судно В под углом  $\alpha$  располагается в начальной позиции судна А, а затем удаляется по курсу судна А с шагом  $\Delta$ , до тех пор пока множество точек AA не перестанет пересекаться с В. Дистанция между начальной позицией судна А и позицией судна В, в которой  $B \notin AA$  определяется как MDTCP. В данном случае при решении задачи нет необходимости учитывать скорость движения судов

$$MDTCP = f(\alpha, M, B, AA).$$

Исследуемые две дистанции связаны между собой как

$$MDTC = MDTCP \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

Условие столкновения судов, предполагает, что истинные вектора движения судов сомкнутся в одной точке  $P_{COLLISION}$ . Отсюда, скорость взаимного сближения определяется по теореме косинусов

$$V_{COLLISION} = \sqrt{V_A^2 + V_B^2 - 2V_A V_B \cos\alpha}$$

Так как курсовой угол  $\beta = \text{const}$ , независимо от расстояния между судами

$$\beta = \sin^{-1} \left( \frac{V_B \sin\alpha}{V_{COLLISION}} \right)$$

Отсюда, для одного значения MDTCP существует множество  $MDTC(V_A, V_B)$ .

Алгоритм программы определения MDTCP приведен на рис. 2.

Для того, чтобы реализовать описанный метод определения минимальной дистанции до точки столкновения, в среде Matlab Simulink R2016b автором была написана соответствующая программа. Расчеты были произведены для контейнеровоза класса памакс (длина – 282 м, ширина 32 м, осадка 12.2 м). Кривые циркуляций были получены методом математического моделирования маневрирования судна на плоскости и сверены данными маневренного буклета. Параметры циркуляций приведены в табл. 1.

Таблица 1

*Параметры циркуляции контейнеровоза класса панамакс*

Угол перекладки руля	10 °	20 °	35 °
Параметр			
Выдвиг, м	1495	1128	930
Тактический диаметр, м	1971	1470	1152
Начальная скорость, узлов	24	24	24
Скорость на момент поворота на 90°, узлов	18.9	16.7	14.5

На рис. 3-5 представлены расчеты MDTCP для различных ситуаций. Так на рис. 3а четко прослеживается зависимость минимальной дистанции от угла перекладки руля и, соответственно, параметров циркуляции.

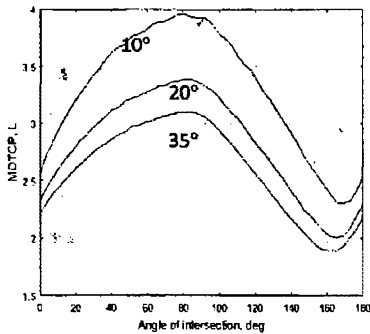


Рис. 3а. Минимальная дистанция до точки столкновения, судно-цель (длина 282 м, ширина 32 м) – справа

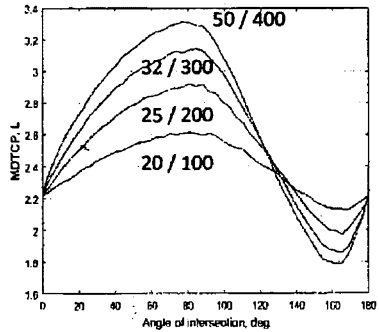


Рис. 3б. Минимальная дистанция до судов-целей справа различных размеров (B / L, м)

На рис. 3б также видно, что при увеличении размеров судов MDTCP увеличивается. Уменьшение MDTCP на встречных курсах ( $\alpha \in (130, 180)$ ) связано с тем, что алгоритм определяет дистанцию от носа судна до ближайшей точки судна-цели. Таким образом, когда судно-цель проходит к нам на встречном курсе близком к параллельному, двигаясь справа налево, MDTCP будет тем меньше, чем длиннее судно-цель. Обратная ситуация будет наблюдаться, если судно движется слева направо.

На рис. 4 наглядно видно, что попутных курсах ( $\alpha < 90^\circ$ ) более эффективным будет отворот в сторону движения цели, в данном случае – влево. На встречных курсах более эффективным будет отворот вправо.

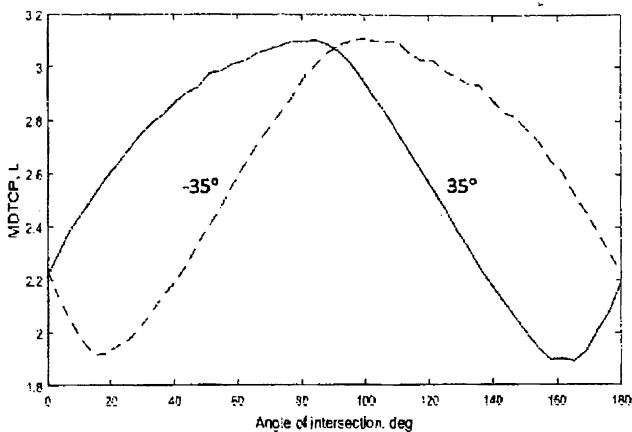
При этом, учитывая особенности COLREGS [3], на практике поворота влево стараются избегать.

На рис. 5 четко прослеживается зависимость дистанции опасного сближения MDTC от предполагаемой дистанции до точки столкновения MDTCP. Так при увеличении скорости судна-цели на встречных курсах MDTC увеличивается, а на попутных – уменьшается.

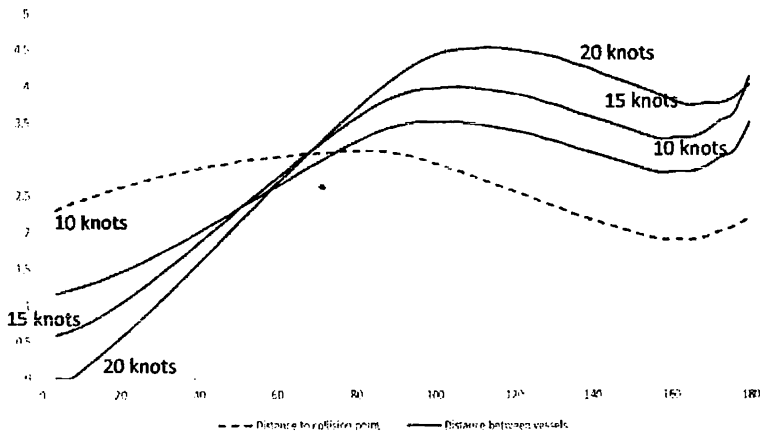
**Выводы.** В результате исследования был разработан алгоритм определения минимальной дистанции до предполагаемой точки столкновения судов, на которой можно совершить маневр последнего момента. Данная дистанция зависит от вида выполняемого судном маневра, угла пересечения курсов и размеров судов.

Показано, что задав значения скоростей судов, можно определить также минимальную дистанцию между судами, на которой можно совершить маневр последнего момента.

Полученный алгоритм может быть внедрен в автоматическую идентификационную систему или электронные карты с целью заблаговременного оповещения судоводителей о развитии ситуации опасного сближения.



*Рис. 4. Минимальная дистанция до точки столкновения; судно-цель (длина 282 м, ширина 32 м) – справа, при отвороте влево и вправо*



*Рис. 5. Минимальная дистанция до точки столкновения; судно-цель (длина 282 м, ширина 32 м) – справа, при отвороте влево и вправо*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *ABS Guide for Vessel Maneuverability*, 2006
2. *Bridge watchkeeping and collision avoidance. Loss prevention bulletin. Japan P&I club. – Vol. 34. – 2015. – 10 p.*
3. *COLREGS-International Regulations for Preventing Collisions at Sea. Consolidated Edition, IMO, 2003.*
4. *Gilbert WU Lee. Managing collision avoidance at sea. A practical guide / G.WU Lee, C.J. Parker. – London, England: Nautical Institute, 2007. – 181 p.*
5. *IMO MSC 76/23, «Resolution MSC.137 (76), Standards for Ship Manoeuvrability», Report of the Maritime Safety Committee on Its Seventy-Sixth Session-Annex 6. – 2002.*
6. *Montewka J. A method for assessing a causation factor for a geometrical MDTC model for ship-ship collision probability estimation / J. Montewka, F. Goerlandt, H. Lammi & P. Kujala // Proceedings of TransNav. – Vol. 5. – № 3. – 2011.*
7. *Вагуценко Л.Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Л.Л. Вагуценко, А.Л. Вагуценко. – Одесса: Феникс, 2010. – 229 с.*
8. *Ермаков С.В. Математическая модель маневра последнего момента с пассивным фактором: Вестник ГУ МРФ. – № 2(30). – 2015. – С. 41-48.*
9. *Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении: Учебное пособие. – Одесса: ОМТЦ, 2005. – 208 с.*
10. *Пипченко А.Д. Анализ аварийности мирового флота 2005-2015 // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. – Вып. 27. – Одесса: ИздатИнформ, 2017. – С. 148-157.*

Стаття надійшла до редакції 12.05.2017

### Рецензенти:

доктор технічних наук, професор Національного університету «Одеська морська академія» **М.М. Цимбал**

кандидат технічних наук, професор, директор Одеського морського тренажерного центру **Ю.В. Пащенко**

УДК 004.732.629.5-52

В.В. Вычужанин, С.Н. Коновалов

## ГИБРИДНЫЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

*В статье приведены результаты анализа методов противоаварийного управления сложными техническими системами, основанных на использовании экспертных и гибридных экспертных систем для оценок технического состояния судовых сложных систем. Рассмотрены структурные схемы построения систем противоаварийного управления на основе гибридных экспертных систем. Рекомендуется совершенствование методов диагностики и прогнозирования технического состояния сложных технических систем, базирующихся на основе гибридных экспертных систем.*

**Ключевые слова:** судовые сложные технические системы, диагностика, прогнозирование, техническое состояние, противоаварийное управление, гибридные экспертные системы.

*The article presents the results of analysis of methods for emergency control of complex technical systems based on the use of expert and hybrid expert systems for assessing the technical condition of ship complex systems. Structural diagrams of construction of emergency control systems based on hybrid expert systems are considered. It is recommended to improve the methods for diagnosing and forecasting the technical state of complex technical systems based on hybrid expert systems.*

**Keywords:** ship complex technical systems, diagnostics, forecasting, technical condition, emergency control, hybrid expert systems.

**Введение.** Специфика функционирования судов связана с эксплуатацией десятков разнообразных сложных технических систем (СТС), а также многообразием используемого программного обеспечения для построения информационных систем мониторинга, диагностики и прогнозирования технического состояния систем [1-3].

Надежность судовых СТС зависит: от когнитивного фактора; переменной структуры систем в зависимости от режимов работы; изменчивости во времени элементов систем.

Типичным примером судовой СТС с переменной структурой, изменяющейся в зависимости от режимов работы, являются системы комфортного кондиционирования воздуха [4; 5]. Надежность работы подобных систем влияет на работоспособность членов экипажей, а значит на живучесть судна.

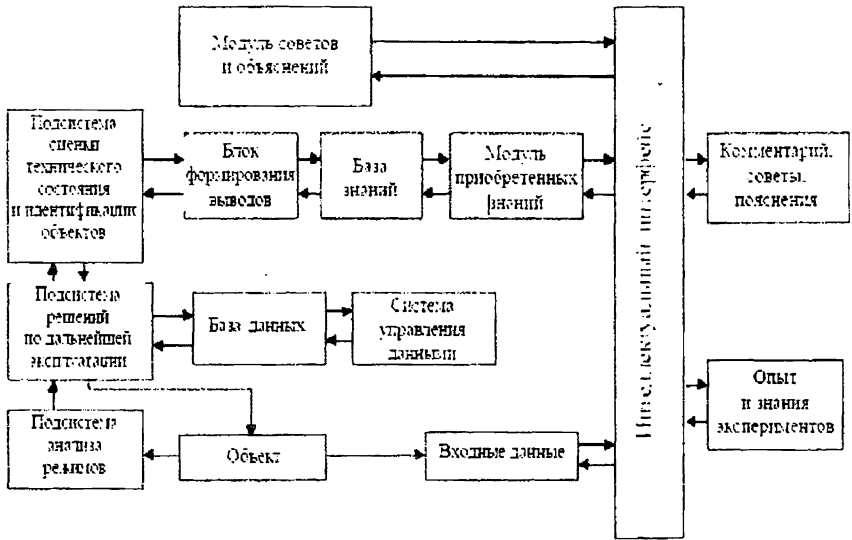
Повысить надежность судовых СТС возможно применением средств противоаварийного управления системами [6-8]. Противоаварийное управление СТС может выполняться по этапам. На каждом этапе используются определенные средства управления для прекращения или ослабления развития аварий и обеспечения перехода к установившемуся режиму. Устройства управления, используемые на каждом этапе, резервируют устройства предыдущего этапа в случае их отказа, неэффективности управляющих воздействий или при возникновении непредусмотренной аварийной ситуации. Центральная задача при проектировании системы противоаварийной управления СТС состоит в выборе состава и числа средств контроля для обнаружения и ликвидации развития аварийных ситуаций. Решение задач противоаварийного управления СТС требует предварительного решения промежуточных задач, связанных с мониторингом, диагностикой и прогнозированием технического состояния СТС на основе использования систем искусственного интеллекта. К системам искусственного интеллекта можно отнести [9-11]: экспертные системы (ЭС); нечеткие системы; системы поддержки принятия решений; искусственные нейронные сети; генетические алгоритмы.

**Актуальность.** Интеллектуализация процессов обработки диагностической информации с использованием технологии ЭС, способных обеспечить повышение качества оценок технического состояния и противоаварийного управления СТС, является одним из направлений, определяющих повышение надежности таких систем.

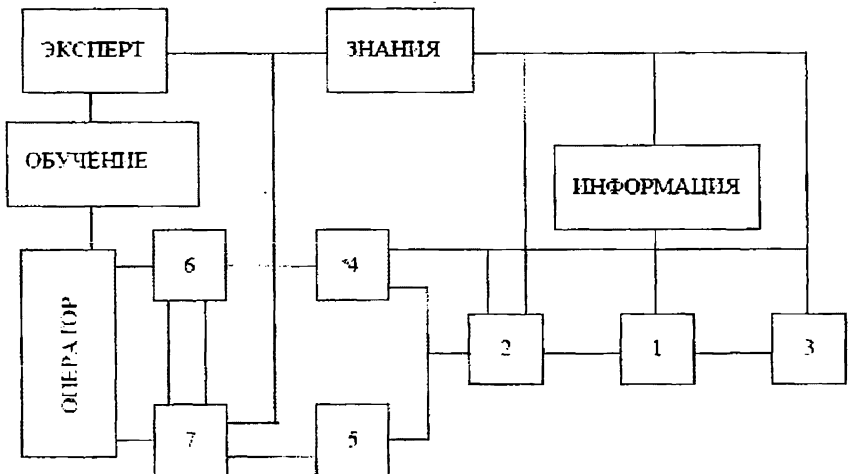
Реализация требований по обеспечению надежности функционирования судовых СТС часто основывается на использовании систем противоаварийного управления на базе экспертных систем оценок технического состояния сложных систем. Анализ методов противоаварийного управления СТС, основанных на использовании экспертных систем для оценок и прогнозирования технического состояния судовых сложных систем является актуальной задачей.

**Целью работы** является анализ методов противоаварийного управления СТС, основанных на использовании экспертных систем для оценок и прогнозирования технического состояния судовых сложных систем.

**Изложение основного материала.** ЭС являются нераздельной частью структуры противоаварийного управления СТС, образуя искусственную интеллектуальную систему [12-16]. Упрощенная структурная схема ЭС оценок технического состояния и принятия решений о дальнейшей эксплуатации оборудования СТС показана на рис. 1 [17]. На рис. 2 приведена схема совместной эксплуатации СТС с ЭС (1 – процесс преобразования энергии в СТС; 2 – управляющая система параметрами СТС; 3 – мониторинговая система параметров СТС; 4 – информационно-менеджментная система; 5 – человеко-машинный интерфейс; 6,7 – ЭС).



*Рис. 1. Упрощённая структурная система ЭС*



*Рис. 2. Схема эксплуатации ЭС*

К функциям ЭС в системах противоаварийного управления СТС можно отнести: интерпретацию данных для определения их значения; диагностику или определение состояния систем на основе интерпретации данных мониторинга; прогнозирование развития будущего на основе моделирования настоящего технического состояния СТС.

Экспертная оценка технического состояния СТС, основывается на использовании набора диагностических признаков и является задачей диагностики технического состояния СТС. В общем виде логическая структура данной задачи может быть представлена в виде графа (рис. 3).



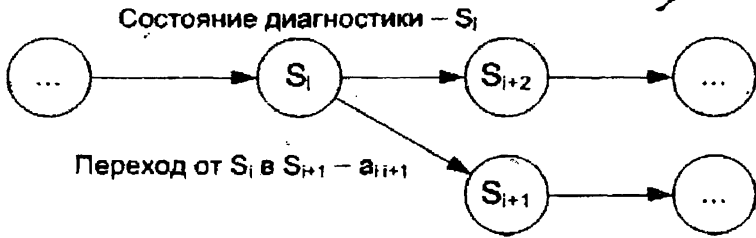


Рис. 3. Логическая структура диагностики технического состояния СТС

Основные усилия при создании ЭС концентрируются на проектировании ее базы знаний (БЗ) [18].

Для формализации процедур эволюции данных в БЗ ЭС может использоваться методика использования стохастических моделей различных типов и уровней: эталонных и текущих (адаптивных), локальных и интегральных. Для их получения применяется база данных (БД) измеряемых параметров, программное обеспечение и БД моделей. Структурная схема ЭС для решения поставленных задач представлена на рис. 4.

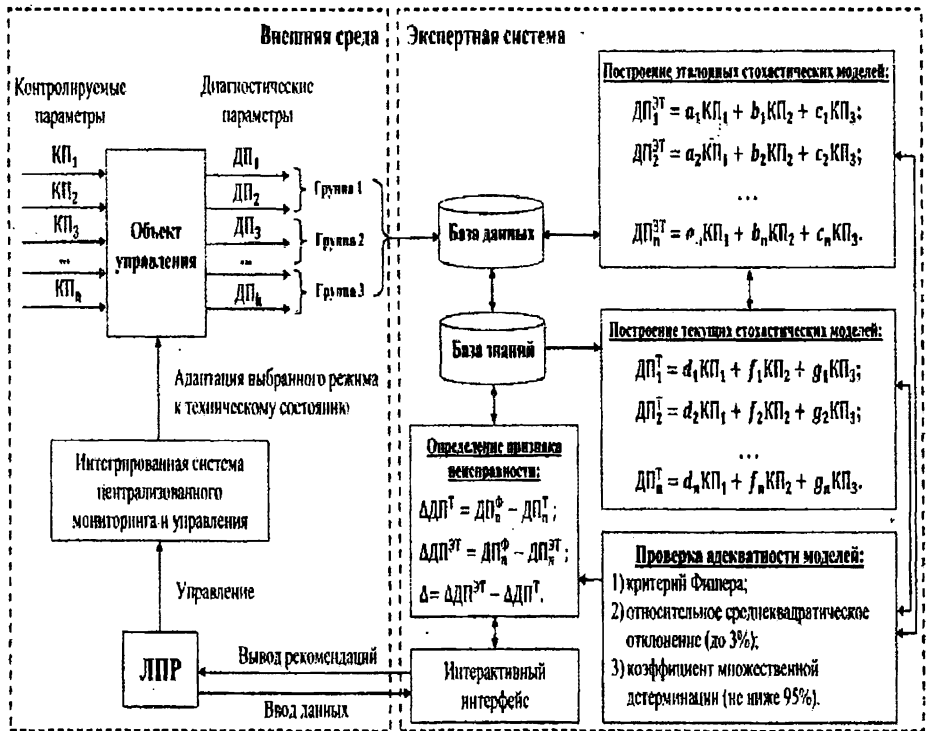


Рис. 4. Взаимодействие ЭС с ЛПР и объектом управления

При использовании метода простой ранжировки эксперт располагает признаки в порядке предпочтения. Достоинства метода: простота процедуры получения оценок; меньшее число экспертов по сравнению с другими методами при оценке одного и того же набора признаков. Недостатки метода: заведомо считается распределение оценок равномерным; уменьшение важности признаков предполагается равномерным, в то время как на практике такого нет. При использовании метода задания весовых коэффициентов всем признакам присваиваются весовые коэффициенты. Они могут быть проставлены способами: весовые коэффициенты назначают всем признакам так, чтобы сумма коэффициентов была равна какому-то фиксированному числу; наиболее важному признаку придают весовой коэффициент, который равен фиксированному числу, а остальным – коэффициенты, равные долям этого числа. При использовании метода последовательных преимуществ отдельный объект сравнивается с суммой последующих объектов для установления его важности. Метод имеет преимущество в сравнении с другими методами, заключающееся в том, что он позволяет сопоставить и измерить качественно различные факторы. Преимущество метода в том, что эксперт при оценивании признаков сам анализирует свои оценки. Недостатки метода в сложности для неподготовленного эксперта и его громоздкость. При использовании метода парных сравнений объекты экспертизы сравниваются попарно для установления наиболее важного в каждой паре. Метод используется для обнаружения преимущества среди значительного количества факторов, проблем, показателей. Эксперты проводят сравнение с констатацией превосходства одного фактора перед другим.

Помимо вышеуказанных математико-статистических методов обработки экспертных оценок, известны разновидности методов экспертных оценок: методы группового опроса экспертов; методы экспертной оценки показателей качества.

К методам группового опроса экспертов относятся: метод Дельфи; метод Паттерн; комбинированный метод. Метод Дельфи – метод опроса экспертов, который основан на последовательно осуществляемых процедурах, направленных на формирование группового мнения экспертов касательно процедур с недостающей информацией. Особенности метода: отказ от совместной работы экспертов; анонимность оценок; регулируемая обратная связь; групповой ответ. Достоинства: из-за анонимности опроса уменьшается авторитарное влияние отдельных доминирующих экспертов; регулируемая обратная связь уменьшает влияние индивидуальных и групповых интересов; обратная связь также повышает критерий объективности и надёжности оценок. Недостатки: сложность опроса экспертов и заполнение анкет; трудоёмкость оценки в связи с большим количеством показателей качества (иногда до 20-40) и заполнением нескольких анкет (3-10); громоздкость записей объяснений из-за отсутствия прямого контакта организатора с экспертами. Метод Паттерн – метод опроса экспертов, основанный на построении иерархической структуры, а также

вынесении постановления этих целей после открытого обсуждения. Метод состоит из нескольких этапов: I этап – постановка основной проблемы, требующей решения, и её разделение на ряд вторичных проблем первого, второго и т.д. порядка, которые делятся на более узкие задачи. В результате такого деления получается дерево целей. II этап – определение с помощью экспертов коэффициентов весомости каждого задания по отношению к основной цели. Эксперты выносят решение после открытого обсуждения в экспертной группе. III этап – применение ЭВМ для обработки полученных данных и их анализа. Преимущества – упрощение процедуры экспертного опроса. Недостатки: отсутствие обоснований оптимального числа членов экспертной группы, а также методики отбора в экспертную группу компетентных специалистов; обработка результатов опроса без учёта различий отдельных экспертов; отсутствие барьеров для проявления конформизма экспертов; недостаточная разработка и неопределённость принципов построения дерева целей. Комбинированный метод – метод, основанный на сочетании индивидуальных и коллективных экспертных оценок. Преимущества: гибкость, исключающая ошибки при опросе экспертов и повышающая достоверность результатов экспертизы; чёткое определение стратегии путём классификации задач по степени значимости и операций по их выполнению; высокая воспроизводимость результатов. К недостаткам метода относится многооперационность, требующая больших затрат времени и средств, но данный недостаток окупается повышенной достоверностью и восстановлению результатов.

Язык нечётких множеств и алгоритмов является наиболее адекватным математическим аппаратом, позволяющим сократить переход от вербального словесного качественного описания объекта, характеризующим человеческое мышление, к численным количественным оценкам его состояния и сформулировать на этой основе простые и эффективные алгоритмы. Т.е. позволяет моделировать человеческие размышления и человеческую способность решения задач. Поэтому целесообразно использование нечеткой логики при разработке приложений (оболочек) для создания экспертных систем [19-21].

Часто априорной информации недостаточно для принятия гипотезы о предпочтительной модели, а выборка апостериорных данных (результатов контроля) слишком мала для каких-либо статистических выводов. В таких случаях, чаще всего, получение достаточно достоверных результатов прогноза обеспечивают методы теории нейронных сетей (метод Розенблатта, метод Видроу-Хоффа, метод обратного распространения, метод Хебба). Эти методы используются при решении задач оценки состояния и прогнозирования изменений параметров систем ответственного назначения. Главным достоинством этих методов является свойство обучения и обобщения. Оно состоит в том, что после многократного предъявления сети обучающих примеров, она способна давать правильные ответы на любые входные данные из обучающего множества.

Свойство обобщения позволяет сети после обучения и тестирования давать правильные ответы и на любые другие входные данные, которые не являются данными обучающего множества. Недостатком нейросетевых методов прогноза технического состояния СТС является необходимость привлечения обучающей выборки, размеры которой и достоверность (точность) её элементов (результатов измерения параметров состояния) сильно влияют на результаты обучения, а, следовательно, и на качество прогноза [21].

Из результатов проведенного анализа ЭС следует, что они обладают такими общими недостатками: знания не всегда легкодоступны (трудно извлекаемые знания из экспертов); частые случаи существования нескольких правильных оценок; ограничение временем; пользователи имеют ограничения в знании предмета; хорошо работают только в узкой области знаний; многие эксперты не имеют независимое средство для проверки достоверности результатов; словарь часто ограничен и его трудно понять; дорогостоящая помощь от инженеров; уязвимость в распознавании границ своих возможностей, и демонстрация ненадёжного функционирования вблизи границ их применимости; большие трудозатраты, которые необходимы для пополнения БЗ.

Необходимость интеграции парадигмы искусственного интеллекта с другими парадигмами (подходы и методы математической статистики, имитационное моделирование, технология программирования и т.д.) для создания стала причиной применения гибридных экспертных систем (ГЭС) для противоаварийного управления СТС [22-25]. ГЭС относятся к комбинированным гибридным интеллектуальным системам, являясь интеграцией ЭС и нейронных сетей. При этом они соединяют как формализуемые (в ЭС), так и неформализуемые знания (в нейронных сетях). Главное преимущество ГЭС заключается в том, что они способны решать задачи, которые не решаются отдельными методами искусственного интеллекта. Сфера применения ГЭС для противоаварийного управления СТС расширяется. Причина этого в том, что: ГЭС решают неформализованные или плохо формализованные задачи относительно более широкого круга, чем ЭС; при решении практических задач ГЭС достигают результатов, которые не уступают, а иногда и превосходят возможности экспертов. Гибридность ЭС определяется двумя модулями в её составе: первый – обеспечивает поддержку принятия решений на основании прецедентов в функциональных структурно-связанных элементах СТС; второй – обеспечивает поддержку принятия решений на основании причинно-следственного комплекса возникновения отказов и аварий.

Основной интеллектуальный компонент ГЭС, как и ЭС – БЗ. Для программной реализации знаний можно использовать продукционно-фреймовые модели. Декларативные и процедурные знания трех классов: предметные знания, управляющие и метазнания. Предметные знания отображаются в виде фреймов, а управляющие знания, которые необходимы

для поиска и генерации семантического решения неформализованной задачи, и метазнания отображаются в виде продукционных правил.

При решении задач диагностики технического состояния при противоаварийном управлении СТС гибридные модели имеют следующие преимущества (рис. 5): использование различных методов решения для разных подзадач; при изменении в механизме решения одной подзадачи не возникает необходимости в корректировке других подзадач; применение различных методов решения к одной подзадаче и возможность сравнения результатов решения; агрегирование информации в рамках гибридной модели не приводит к её потере, возможность восстановления всех данных вплоть до первичных показателей.

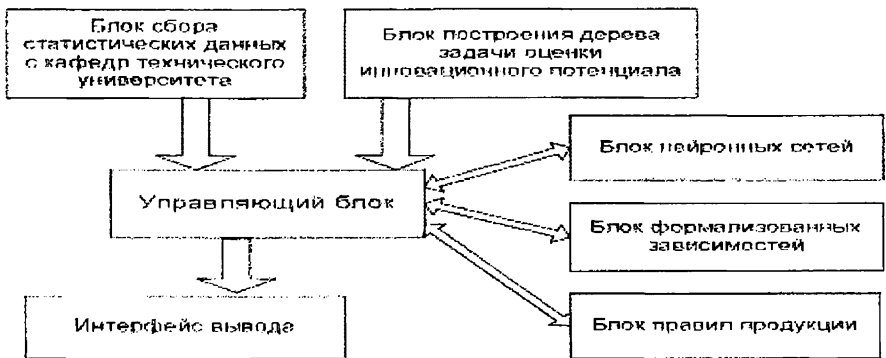


Рис. 5. Пример структуры ГЭС

Архитектура ГЭС (рис. 6) образована совокупностью трёх функциональных блоков, реализованных в виде программных комплексов: БЗ; блока вывода решения, предназначенного для генерации семантического решения с применением продукционных правил; интерфейса пользователя.

ГЭС могут основываться на методах: создания баз данных, баз знаний; углубленного анализа данных; линейного программирования; системного анализа; моделирования [11]. Главная задача при разработке ГЭС – сочетание разных форм методов и представлений обработки знаний при принятии решений в условиях неопределённости.

На рис. 7 в качестве примера приведена структурная системы противоаварийного управления системой электроснабжения предприятия, состоящая из двух интеллектуальных нейронных сетей (ИНС). Первая ИНС используется для оценивания возможных перегрузок, вызванных аварийными отключениями элементов электрической сети. Обучение ИНС производится в автономном режиме с помощью серий расчётов режимов системы для различных схемно-режимных ситуаций.

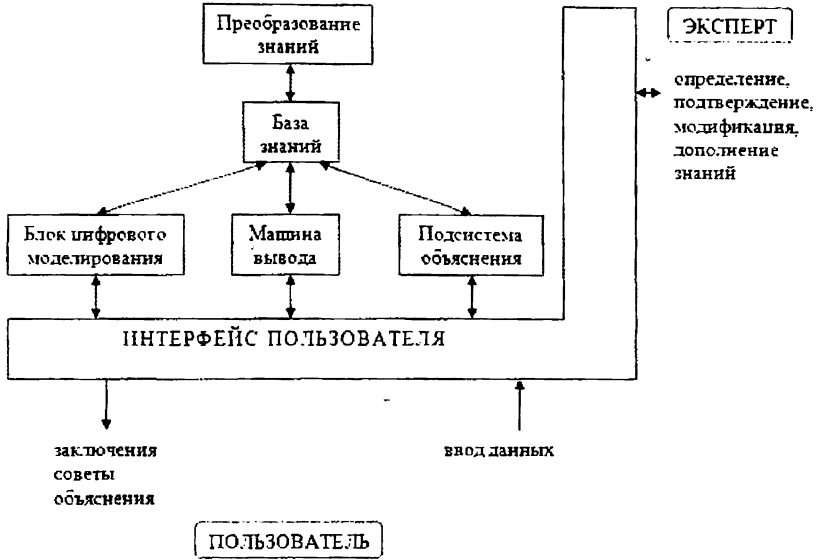


Рис. 6. Пример архитектуры ГЭС

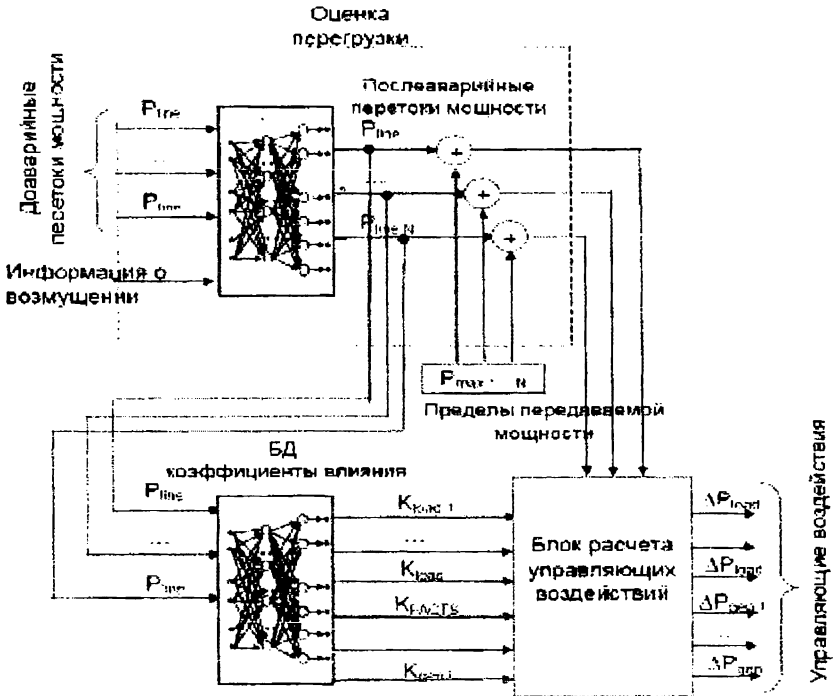


Рис. 7. Структура системы противоаварийного управления из ИНС

Мобильность приведенной ГЭС основана на мобильности БЗ, а также возможности пополнения этой БЗ различными информационными составляющими и процедурами вывода (рис. 8). При этом экспертные знания из-за их субъективного характера – неточны. По причине приближенности и многозначности знаний ГЭС имеет дело не с одной, а с несколькими альтернативными областями. Из этого следует, что неполнота знаний, позволяет использовать не один, а несколько источников знаний.

Любая ГЭС имеет свои требования к форме представления знаний. Однако из-за того, что они различны (фреймы, семантические сети, БД, понятия в БЗ ЭС, нейросети, нечёткая логика, генетические алгоритмы), то ГЭС сложно объединить эти знания даже в рамках единого информационного пространства. Например, в ГЭС (рис. 9) разнородные знания хранятся в статической ЭС, а динамические знания – в нейронных сетях.

Консультации экспертов, находящихся на значительном удалении от потребителя знаний, можно получить в реальном времени благодаря современным технологиям. Например, технологии Web-ориентированных ГЭС. Они представляют собой программный комплекс, агрегирующий стандартные пакеты прикладных программ, средства манипулирования знаниями и Web-оболочку.

Вторая ИНС служит для адаптации коэффициентов влияния. На вход ИНС подается информация по послеаварийному режиму.

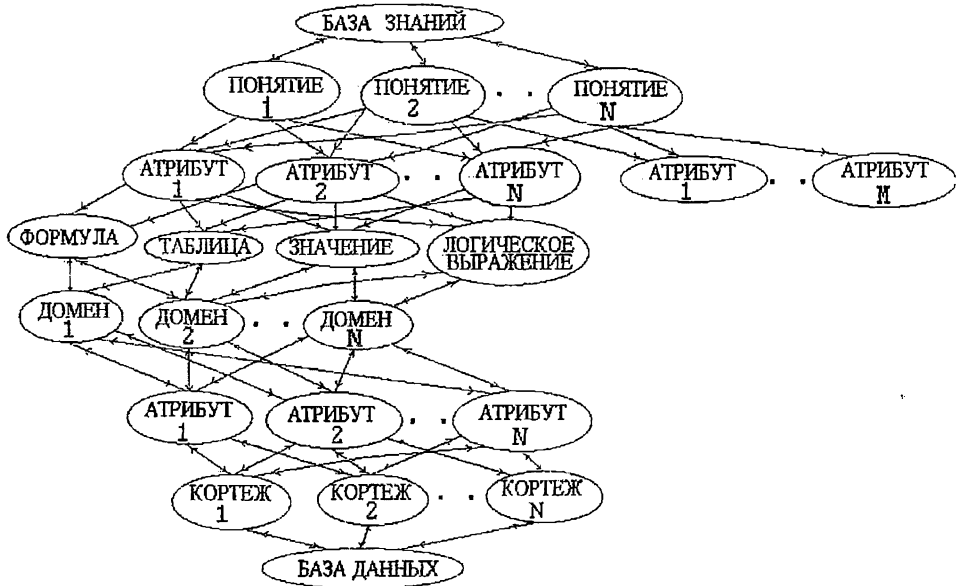


Рис. 8. Модель БД и БЗ в ГЭС

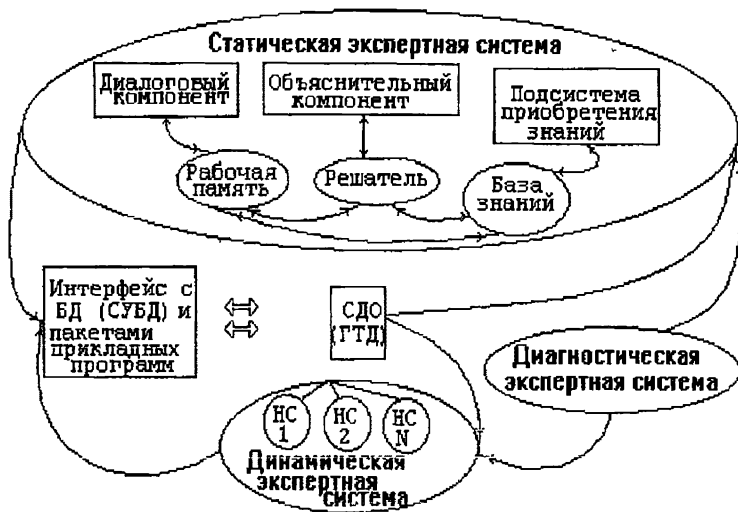


Рис. 9. Диагностическая нейро-нечёткая ЭС

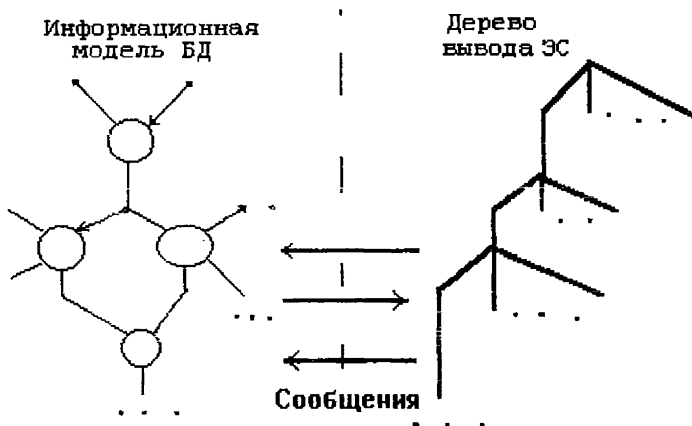


Рис. 10. Обмен данными между БЗ и БД в ГЭС

Проведенный анализ ГЭС показал, что существуют проблемы применения подобных систем для противоаварийного управления СТС: сложность систем; разнообразие систем; недостаточная изученность их и протекающих в них и окружающей среде процессов и некоторых программ при их реализации.



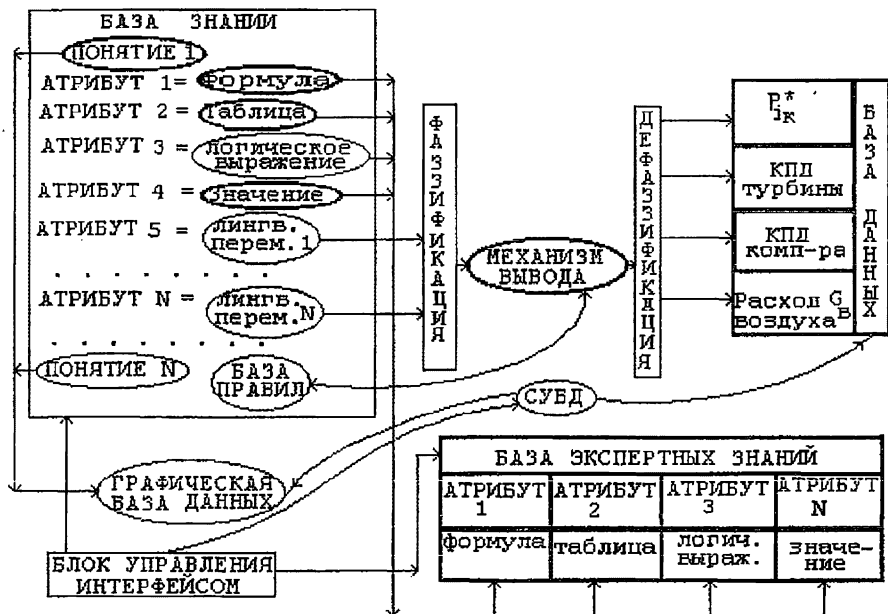


Рис. 11. Обмен разнородными знаниями в подсистемах ГЭС

**Выводы.** Проведенный анализ информационных материалов показал, что существующие технологии ГЭС, используемые для противоаварийного управления СТС, обладают рядом недостатков, связанных как с техническими ограничениями, так и с обработкой большого объема информации.

В связи с этим возникает необходимость в дальнейшем совершенствовании методов противоаварийного управления СТС с использованием технологии ГЭС, основанной на диагностике и прогнозировании технического состояния СТС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Вычужанин В.В., Рудниченко Н.Д. Технические риски сложных комплексов функционально взаимосвязанных структурных компонентов судовых энергетических установок / В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2014. – Вып. 2(41). – С. 68-77.
2. Вычужанин В.В. Метод управления рисками судовых сложных технических систем / В.В. Вычужанин, Н.Д. Рудниченко // Проблеми техніки. – 2014. – Вып. 2. – С. 138-142.

3. Вычужанин В.В. Модель оценки живучести судовых технических систем / В.В. Вычужанин, В.Д. Бойко // Вісник Миколаївського кораблебудівного університету. – 2012. – Вип. 3. – С. 62-67.
4. Вычужанин В.В. Повышение эффективности эксплуатации судовой системы комфортного кондиционирования воздуха при переменных нагрузках. Монография / В.В. Вычужанин. – Одесса: ОНМУ, 2009. – 206 с.
5. Вычужанин В.В. Математические модели нестационарных режимов воздухообработки в центральной СКВ / В.В. Вычужанин // Вісник Одеського нац. морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2007. – Вип. 23. – С. 172-185.
6. Гузанов А.Н. Морские компьютерные системы управления техническими средствами судов: Учебное пособие / А.Н. Гузанов, Л.И. Ковтун. – СПб.: СПбГУВК, 2001. – 127 с.
7. Ковтун Л.И. Современные информационные технологии в процессах управления борьбой за живучесть корабля / Л.И. Ковтун // Судостроение, 2002. – № 3. – С. 20-24.
8. Буянов В.П. Рискология (управление рисками) / В.П. Буянов, К.А. Кирсанов, Л.М. Михайлов. – М.: Изд-во «Экзамен», 2003. – 384 с.
9. Ручкин, В.Н. Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы / В.Н. Ручкин, В.А. Фулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 240 с.
10. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П.Норвиг. – М.: ООО «ИД Вильямс», 2006. – 1408 с.
11. Попов Э.В. Искусственный интеллект. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы / Э.В. Попов. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
12. Муромцев Д.И. Введение в технологию экспертных систем / Д.И. Муромцев. – СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2005. – 93 с.
13. Джаратанно Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джаратанно, Г. Райли. – М.: ООО «ИД Вильямс», 2007. – 1152 с.
14. Liebowitz J. Worldwide Perspectives and Trends in Expert Systems. An Analysis Based on the Three World Congresses on Expert Systems / Jay Liebowitz. – 1997. – № 2. – С. 115-119.
15. Балтрашевич В.Э. Реализация инструментальной экспертной системы / В.Э. Балтрашевич. – СПб.: Политехника, 1993. – 237 с.
16. Абрахам А. Экспертные системы на основе правил / А. Абрахам, П.Н. Семченко // Вестник ТОГУ. – 2013. – № 3(30). – С. 29-40.

17. Головка С.В. Диагностика технического состояния судового электрооборудования на основе интеллектуального анализа данных / С.В. Головка // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика, 2009. – С. 90-95.
18. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – С. 384.
19. Полковникова Н.А. Разработка модели экспертной системы на основе нечёткой логики / Н.А. Полковникова, В.М. Курейчик // Известия ЮФУ. Технические науки. – С. 83-92.
20. Vichuzhanin V. Realization of a fuzzy controller with fuzzy dynamic correction / V. Vichuzhanin // Central European Journal of Engineering. – 2012. – Т. 2. – Вып. 3. – P. 392-398
21. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. – СПб.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 452 с.
22. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы / А.В. Гаврилов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 164 с.
23. Батыршин И.З. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / И.З. Батыршин, А.О. Недосекин. – М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2007. – 208 с.
24. Вычужанин В.В. Диагностика, контроль при эксплуатации и ремонте систем кондиционирования воздуха на основе гибридных нейронечетких экспертных систем / В.В. Вычужанин // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. – 2010. – Вып. 30. – С. 100-108.
25. Lucas J. A hybrid recommendation approach for a tourism system / J. Lucas, N. Luz, M. Moreno et al. // Expert Systems with Applications. – 2013. – № 40. – С. 3532-3550.
26. Polach P. Hybrid expert system shell / P. Polach, J. Valenta, V. Jirsik // Proceedings of the 4th EUROPEAN COMPUTING CONFERENCE. – 2010. – P. 148-153.

Стаття надійшла до редакції 29.05. 2017

#### Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Експлуатація суднового електрообладнання та засобів автоматики» Одеського національного морського університету **В.О. Яровенко**

доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету **В.П. Сторожев**

УДК 517.9

Т.Д. Панченко, І.А. Тузова, В.В. Челабчі, В.М. Челабчі

**ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ EXCEL  
ПРИ ВИКЛАДАННІ КУРСУ «МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ»**

*У статті проводиться аналіз використання чисельних методів при вивченні навчальної дисципліни «Моделювання систем». Описано використання аналітико-сіткового методу розв'язання звичайних диференціальних рівнянь.*

**Ключові слова:** моделювання систем, рішення, звичайні диференціальні рівняння.

*В статье проводится анализ использования численных методов при изучении учебной дисциплины «Моделирование систем». Описано использование аналитико-сеточного метода решения обыкновенных дифференциальных уравнений.*

**Ключевые слова:** моделирование систем, решение, обыкновенные дифференциальные уравнения.

*The article analyzes the use of numerical methods in the study of educational discipline «Simulation systems». We describe the use of analytical-grid method for solving ordinary differential equations.*

**Keywords:** simulation systems, decision, ordinary differential equations.

**Вступ.** При створенні нових і для оптимізації режимів роботи існуючих суднових систем і установок активно використовуються методи математичного моделювання. Вірогідність інформації, отриманої при моделюванні динаміки суднових комплексів та систем, в першу чергу залежить від того, наскільки докладно й адекватно використовувані математичні моделі описують процеси в системі.

Не менш важливим представляється розробка ефективних чисельних методів для імітації процесів у системах. Використовувані чисельні методи повинні мати абсолютну стійкість або, у всякому разі, стійкість в максимально широкому діапазоні параметрів моделі. Необхідно також забезпечувати максимально низьку методичну погрішність чисельного методу.

Вибір методу чисельного моделювання динамічних процесів в суднових установках і системах залежить від рівня вимог до постановки задачі.

Найбільш достовірну інформацію про процеси можна отримати, використовуючи проекційно-сіткові методи [1], [2]. Але реалізація проекційно-сіткового методу в середовищі Excel вимагає організації громіздких таблиць.

Часто необхідно проводити оціночні розрахунки, коли потрібно встановити наближені результати для отримання інформації про характер процесів, що протікають. У цьому випадку має сенс використовувати менш точні різницеві методи, які легко реалізуються в середовищі Excel.

Не менш важливим є ефективне використання чисельних методів при освоєнні курсу «Моделювання систем». В цьому випадку чисельне моделювання динамічних процесів в середовищі Excel легко реалізується, а візуалізація результатів проводиться легко і наочно.

**Моделювання динаміки об'єктів з зосередженими параметрами.** Опис динамічних процесів в елементах суднових комплексів звичайно базується на концепції систем з зосередженими параметрами. Звичайні диференціальні рівняння першого або другого порядку використовуються як математичні моделі об'єктів моделювання.

Як приклад розглядається моделювання перехідних процесів у системі автоматичного регулювання (рис. 1). Використано пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор.

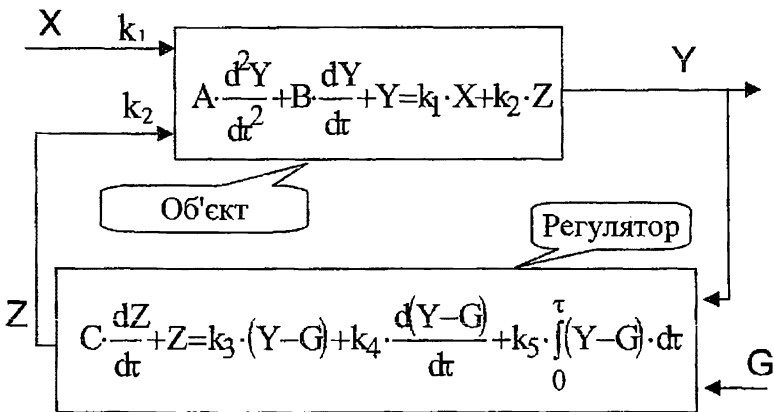


Рис. 1. Схема системи автоматичного регулювання

Прийняті позначення:

$\tau$  – час;

$C$  – коефіцієнт властивості об'єкта;

$X$  – зовнішній вплив на об'єкт;

$Y$  – реакція системи;

$Z$  – регулюючий вплив;

$G$  – налаштування регулятора;

$k_1$ - $k_5$  – коефіцієнти, що враховують дію різного роду впливів.

Всі величини представлені в безрозмірному вигляді.

Математична модель об'єкта (1)

$$A \cdot \frac{d^2 Y}{dt^2} + B \cdot \frac{dY}{dt} + Y = k_1 \cdot X + k_2 \cdot Z, \quad \tau = 0 \quad Y = Y_0, \quad Y' = Y'_0. \quad (1)$$

Математична модель регулятора (2)

$$C \cdot \frac{dZ}{dt} + Z = k_3 \cdot (Y - G) + k_4 \cdot \frac{d(Y - G)}{dt} + k_5 \cdot \int_0^{\tau} (Y - G) \cdot dt, \quad \tau = 0 \quad Z = Z_0. \quad (2)$$

При моделюванні використовується чисельний метод трапецій.

Для реалізації чисельного методу рівняння об'єкта (10) слід перетворити в систему двох рівнянь. Вводиться нова змінна (3)

$$F = dY/d\tau. \quad (3)$$

Математична модель системи регулювання представляється у вигляді системи трьох рівнянь (4), (5), (6) які необхідно вирішувати спільно

$$\frac{dY}{d\tau} = F, \quad \tau = 0, \quad Y = Y_0. \quad (4)$$

$$\frac{A}{B} \cdot \frac{dF}{d\tau} + F = -\frac{1}{B} Y + \frac{k_1}{B} \cdot X + \frac{k_2}{B} \cdot Z, \quad \tau = 0, \quad F = F_0 = Y'_0. \quad (5)$$

$$C \cdot \frac{dZ}{d\tau} + Z = k_3 \cdot (Y - G) + k_4 \cdot \frac{d(Y - G)}{d\tau} + k_5 \cdot \int_0^{\tau} (Y - G) \cdot dt, \quad \tau = 0, \quad Z = Z_0. \quad (6)$$

При запису кінцево-різницевого аналогів диференціальних рівнянь використовується різницева схема трапецій. Після перетворень отримуємо в компактному запису систему рівнянь.

$$F_i = D_1 \cdot F_{i-1} + D_2 \cdot (Y_i + Y_{i-1}) + D_3 \cdot (X_i + X_{i-1}) + D_4 \cdot (Z_i + Z_{i-1}), \quad (7)$$

$$Y_i = Y_{i-1} + D_5 \cdot (F_i + F_{i-1}), \quad (8)$$

$$Z_i = D_6 \cdot Z_{i-1} + D_7 \cdot Y_i + D_8 \cdot Y_{i-1} + D_9 \cdot G_i + D_{10} \cdot G_{i-1}, \quad (9)$$

де

$$D_1 = \frac{2 \cdot A - B \cdot \Delta\tau}{2 \cdot A + B \cdot \Delta\tau}, \quad D_2 = \frac{\Delta\tau}{2 \cdot A + B \cdot \Delta\tau}, \quad D_3 = \frac{k_1 \cdot \Delta\tau}{2 \cdot A + B \cdot \Delta\tau}, \quad D_4 = \frac{k_2 \cdot \Delta\tau}{2 \cdot A + B \cdot \Delta\tau},$$

$$D_5 = \frac{\Delta\tau}{2}, \quad D_6 = \frac{2 \cdot C - \Delta\tau}{2 \cdot C + \Delta\tau}, \quad D_7 = \frac{2 \cdot \Delta\tau}{2 \cdot C + \Delta\tau} \cdot \left( \frac{k_3}{2} + \frac{k_4}{\Delta\tau} + \frac{k_5 \cdot \Delta\tau}{2} \right),$$

$$D_8 = \frac{2 \cdot \Delta\tau}{2 \cdot C + \Delta\tau} \cdot \left( \frac{k_3}{2} - \frac{k_4}{\Delta\tau} + \frac{k_5 \cdot \Delta\tau}{2} \right), \quad D_9 = \frac{2 \cdot \Delta\tau}{2 \cdot C + \Delta\tau} \cdot \left( -\frac{k_3}{2} - \frac{k_4}{\Delta\tau} - \frac{k_5 \cdot \Delta\tau}{2} \right),$$

$$D_{10} = \frac{2 \cdot \Delta\tau}{2 \cdot C + \Delta\tau} \cdot \left( -\frac{k_3}{2} + \frac{k_4}{\Delta\tau} - \frac{k_5 \cdot \Delta\tau}{2} \right).$$

Умови обчислювальної стійкості  $0 < D_1 < 1$ ,  $0 < D_6 < 1$ .

Спільне рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь (16), (17), (18) в середовищі Excel може проводитися методом ітерацій. При ітераційному вирішенні практично завжди використовується метод Зейделя. Зокрема, він реалізований в табличному процесорі Excel.

Для забезпечення виконання ітерацій необхідно звернутися до активного пункту меню «Сервіс», потім до команди меню «Параметри» і працювати із вкладкою «Вычисления», замовити ітераційний процес, установити число ітерацій чи установити відносну погрішність.

**Аналітико-сітковий метод.** Ряд різницевих методів (явний різницевий метод, метод трапецій, метод Рунге-Кутта 4 порядку) при певних значеннях коефіцієнтів рівнянь і кроку (інтервалу) інтегрування володіє нестійкістю. Тому рекомендується використовувати аналітико-сітковий [2; 5] метод розв'язання рівнянь типу (10).

Цей метод відрізняється абсолютною стійкістю і малою методичною похибкою

$$A \cdot \frac{dY}{d\tau} + Y = K \cdot X(\tau), \quad \tau = 0, \quad Y = Y_0, \quad (10)$$

де  $\tau$  – час;

$X(\tau)$  – вплив на об'єкт;

$Y(\tau)$  – реакція об'єкта;

$A, K$  – коефіцієнти властивості об'єкта.

Одним зі способів побудови різницевих схем є використання точного аналітичного рішення на відрізку інтегрування рівного кроку сітки. У межах відрізка інтегрування використовується нова координатна вісь  $t$ , як показано на рис. 1, та проводиться рішення рівняння (11).

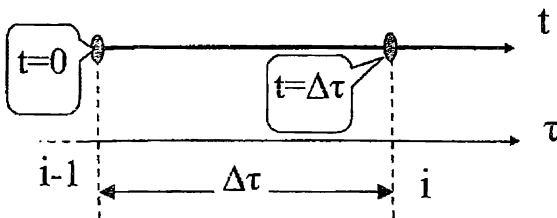


Рис. 2. Відрізок інтегрування

$$A \cdot \frac{dY}{dt} + Y = K \cdot B, \quad t = 0, \quad Y = Y_{t-1}. \quad (11)$$

Залежно від способу подання впливу  $B$  можливі варіанти організації схем.

При  $B = \text{const}$  аналітичне рішення (11) має вигляд (12)

$$Y = (Y_{i-1} - K \cdot B) \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{A}\right) + K \cdot B, \quad (12)$$

де  $B$  – прийняте на відрізку інтегрування постійне значення впливу. Розумно прийняти  $B = 0,5 \cdot (X_i + X_{i-1})$ . Тоді розрахункова формула має вигляд (13)

$$Y_i = D_1 \cdot Y_{i-1} + D_2 \cdot (X_i + X_{i-1}), \quad (13)$$

де  $D_1 = \exp\left(-\frac{\Delta\tau}{A}\right), \quad D_2 = \frac{K}{2} - \frac{K}{2} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta\tau}{A}\right).$

Ця схема абсолютно стійка, оскільки завжди виконується умова (14).

$$0 < \exp\left(-\frac{\Delta\tau}{A}\right) < 1. \quad (14)$$

При лінійній залежності  $B = a + b \cdot t$  аналітичне рішення (11) має вигляд (15)

$$Y = (Y_{i-1} - K \cdot a - K \cdot A \cdot b) \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{A}\right) + K \cdot a - K \cdot A \cdot b + K \cdot b \cdot \tau. \quad (15)$$

Якщо на відрізку інтегрування прийнята лінійна зміна величини  $X$  від  $X_{i-1}$  до  $X_i$ , то (16)

$$a = X_{i-1}, \quad b = \frac{X_i - X_{i-1}}{\Delta\tau}. \quad (16)$$

Розрахункова формула приймає вигляд (17)

$$Y_i = D_1 \cdot Y_{i-1} + D_2 \cdot X_{i-1} + D_3 \cdot X_i, \quad (17)$$

$$D_1 = \exp\left(-\frac{\Delta\tau}{A}\right), \quad D_2 = \frac{A \cdot K}{\Delta\tau} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{\Delta\tau}{A}\right)\right) - K \cdot \exp\left(-\frac{\Delta\tau}{A}\right),$$

де  $D_3 = K - \frac{A \cdot K}{\Delta\tau} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{\Delta\tau}{A}\right)\right).$

Схема абсолютно стійка, оскільки завжди виконується умова (18)

$$0 < \exp\left(-\frac{\Delta\tau}{A}\right) < 1. \quad (18)$$



Для оцінки ефективності чисельних методів авторами проводилася серія рішень лінійних рівнянь виду (10) як при переході системи з обуреного стану в стійкий, так і при стрибкоподібній зміні впливу (таблиця 1).

Таблиця 1

*Оцінка ефективності чисельних методів*

Метод	Оцінка абсолютної стійкості	Відносний рівень погрішності в порівнянні із проєкційним методом
Явний різницевий метод	$0 < \frac{\Delta\tau}{A} < 1$	1.5 – 2.5
Неявний різницевий метод	Стійкий	1.2 – 2.0
Метод трапецій	$0 < \frac{\Delta\tau}{A} < 2$	1.1 – 1.5
Аналітико-сітковий метод з постійним впливом на інтервалі інтегрування	Стійкий	1.05 – 1.5
Аналітико-сітковий метод з лінійним впливом на інтервалі інтегрування	Стійкий	1.025 – 1.1
Метод Рунге- Кутта 4 порядку	$0 < \frac{\Delta\tau}{A} < 2,785$	1.1 – 1.5
Проєкційний метод	Стійкий	1

де  $\Delta\tau$  – крок інтегрування.

Оцінка погрішності проводилася порівнянням з точними аналітичними рішеннями.

Згідно до таблиці 1 аналітико-сітковий метод можна рекомендувати для вирішення звичайних диференціальних рівнянь.

**Моделювання одновимірних процесів переносу в каналах.** У теплообмінних установках відбувається сукупність взаємозалежних процесів переносу маси, імпульсу й концентрації. Математична модель процесів теплопереносу в теплообмінних установках включає систему звичайних диференціальних рівнянь першого порядку. При записі рівнянь математичних моделей можна незалежно від схеми руху теплоносіїв використовувати одновимірний опис тепло- й масопереносу в кожному каналі.

У безрозмірному вигляді одновимірний теплоперенос в каналі можна описати рівнянням (19)

$$\text{Re} \cdot \text{Pr} \cdot \frac{dT}{dX} = \sum_{k=1}^{Km} \text{Nu}_k \cdot (T_k - T), \quad (19)$$

де  $T, X$  – відповідно, температура потоку і вісі координат у напрямку руху потоку;

$\text{Re} \cdot \text{Pr}$  – комплекс критеріїв, що відображають потік;

$T_k, \text{Nu}_k$ , – відповідно, температура і критерій, що описує теплообмін зі стінкою каналу.

Для моделювання зручно перетворити (19) в (20).

$$\left( \text{Re} \cdot \text{Pr} / \sum_{k=1}^{Km} \text{Nu}_k \right) \cdot \frac{dT}{dX} + T = \sum_{k=1}^{Km} \left( \left( \text{Nu}_k / \sum_{k=1}^{Km} \text{Nu}_k \right) \cdot (T_k) \right)$$

або

$$A \cdot \frac{dT}{dX} + T = \sum_{k=1}^{Km} (D_k \cdot T_k) \quad (20)$$

де  $A = \text{Re} \cdot \text{Pr} / \sum_{k=1}^{Km} \text{Nu}_k, \quad D_k = \text{Nu}_k / \sum_{k=1}^{Km} \text{Nu}_k.$

Рішення (20) можна проводити з використанням різних різнице-вих схем (явна, неявна, трапецій, Рунге-Кутта четвертого порядку) [50]. Проте в деяких випадках вони відрізняються нестійкістю і порівняно високою методичної похибкою.

Одним зі способів побудови різнице-вих схем є використання точного аналітичного рішення на відрізку інтегрування рівного кроку сітки. У межах відрізка інтегрування використовується нова координатна вісь  $x$ , як показано на рис. 4, та проводиться рішення рівняння (21).

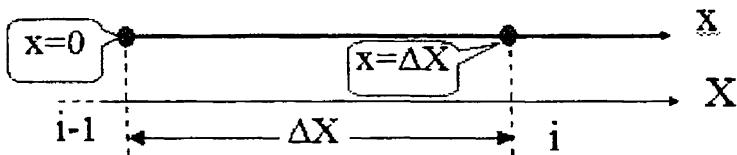


Рис. 4. Схема відрізка рішення (21)

$$A \cdot \frac{dT}{dx} + T = \sum_{k=1}^{Km} (D_k \cdot T_k), \quad x=0, T=T_{i-1} \quad (21)$$

Можна прийняти

$$A = (A_i + A_{i-1})/2, \quad D_k = (D_{ki} + D_{ki-1})/2, \quad T_k = (T_{ki} + T_{ki-1})/2.$$

У цьому випадку можна отримати розрахункову формулу (22)

$$T_i = T_{i-1} \cdot D1 + \sum_{k=1}^{Km} (D_k \cdot T_k) \cdot (1 - D1) \quad (22)$$

де

$$D1 = \exp \left( - \left( \sum_{k=1}^{Km} Nu_k / (Re \cdot Pr) \right) \cdot \Delta X \right).$$

Оскільки завжди виконується умова (23) пропонується різницева схема володіє абсолютною обчислювальною стійкістю

$$0 < D1 < 1. \quad (23)$$

Для оцінки методичної похибки різницевих схем проводилися варіантні дослідження. У канал з постійною безрозмірною температурою стінки  $T_k=0$  і постійними умовами теплообміну подавалася середа з безрозмірною температурою на вході  $T=1$ .

Результати досліджень наведені на рис. 5.

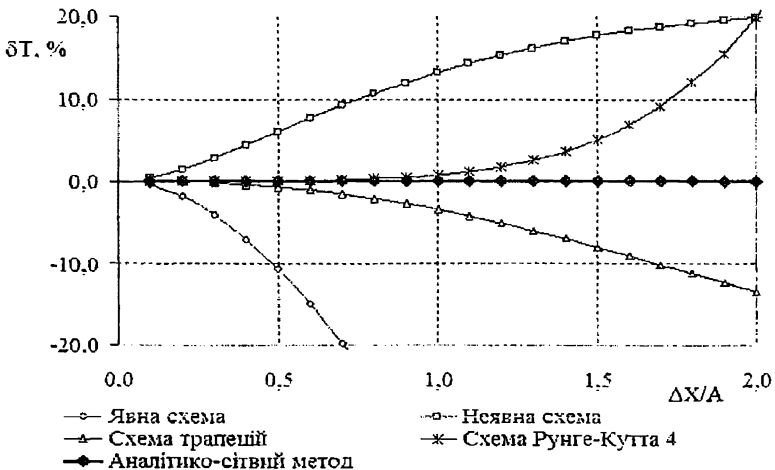


Рис. 5. Залежність найвищої відносної похибки від параметрів моделі

**Висновки.** Проведений аналіз показав ефективність використання Excel при моделюванні динаміки систем. У навчальному процесі при освоєнні курсу «Моделювання систем» краще використовувати метод трапецій (при забезпеченні умов стійкості процесу рішення) або аналітико-сітковий метод.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Марчук Г.И. Введение в проекционно-сеточные методы / Г.И. Марчук, В.И. Агошков. – М.: Наука, 1981. – 416 с.
2. Челабчі В.М. Чисельні методи: Навч. посібник / В.М. Челабчі, В.В. Челабчі, І.А. Тузова. – Одеса: ОНМУ, 2012. – 39 с.
3. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 632 с.
4. Годунов С.К. Разностные схемы (введение в теорию): Учебн. пособие / С.К. Годунов, В.С. Рябенский. – М.: Наука, 1973. – 400 с.
5. Меркт Р.В. До питання чисельного моделювання систем з розподіленими і зосередженими параметрами / Р.В. Меркт, В.В. Челабчі, В.М. Челабчі // Матеріали VIII міжнародної НПК «Наука і освіта '2005». – Т. 23. Математичне моделювання. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – С. 45-46.
6. Меркт Р.В. О выборе численных методов для исследования динамических систем / Р.В. Меркт, В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // Сб. научн. трудов по материалам международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2007». – Т. 1. – Одесса: НИИМФ-ОНМУ, 2007. – С.81-84.

Стаття надійшла до редакції 17.05.2017

### Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету  
**В.В. Вичужанін**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету  
**Р.А. Варбанець**

УДК 514.18

В.П. Бреднёва, Л.В. Кошарская

**О ФОРМИРОВАНИИ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ  
В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В ВУЗЕ**

*Рассматриваются вопросы формирования графических компетенций студентов технических вузов. Дано обоснование структуры и содержания данного понятия. Предложена модель усовершенствования графических компетенций будущих инженеров в процессе графической подготовки в вузе.*

**Ключевые слова:** графические компетенции, начертательная геометрия, инженерная графика, компетентностный подход в образовании, графическое образование инженера.

*Розглядаються питання формування графічних компетенцій студентів технічних інститутів. Надається обґрунтування структури та змісту цього поняття. Пропонується модель удосконалення графічних компетенцій майбутніх інженерів під час графічної підготовки у вищому навчальному закладі.*

**Ключові слова:** графічні компетенції, нарисна геометрія, інженерна графіка, компетентісний підхід в освіті, графічна освіта інженера.

*The main issues concerning graphic competences formation of students of technical institutions are considered. Justification of the structure and the content of this concept is given. The model improvement of future engineer's graphic competences formation in the course of graphic preparation in institution is offered.*

**Keywords:** graphic competences, descriptive geometry, engineering graphics, competence-based educational approach, engineer's graphic education.

**Введение.** Реформа системы высшего образования на современном этапе, в первую очередь, направлена на решение задачи подготовки компетентного и конкурентоспособного специалиста на отечественном и европейском рынке труда. Актуальной задачей современной высшей школы является реализация компетентностного подхода в образовании, а именно, формирование ключевых компетентностей, обобщенных и прикладных предметных умений, жизненных навыков. В теории и практике высшей технической школы внедрение компетентностного подхода требует решения целого ряда задач, связанных с разработкой и созданием условий, поиском новых технологий, методов, способов и особых форм организации учебного процесса.

Графические компетентности – это компетентности, представляющие обобщения теоретических и прикладных знаний и умений, правил выполнения чертежей, принципов их построения, а также знание и соблюдение основных требований нормативной документации, которые приобретаются при изучении графических дисциплин в вузе.

**Постановка проблемы.** Развитие способностей правильно воспринимать, разрабатывать, а также сохранять и передавать какую-либо техническую графическую информацию являются основными задачами графической подготовки в профессиональном инженерном образовании. Не отрицая существующих мнений, считаем, что подготовленность студентов к будущей профессиональной деятельности, уровень их графического образования определяется комплексом графических компетенций, формирование которых представляет собой целенаправленный и планомерный процесс профессионального самостановления и самореализации личности будущего инженера-строителя или специалиста морской отрасли. Результатом графической подготовки в вузе является графическая компетентность. Для формирования профессиональных графических компетенций необходимо комплексное объединение традиционных и активных методов обучения.

**Основной материал.** Одной из ведущих тенденций инновационного развития в системе высшего профессионального образования является усиление внимания к проблеме подготовки кадров качественно нового уровня – приоритетными становятся вопросы реализации компетентностных подходов к процессу обучения в высшей школе. Реализация такого подхода в образовательном процессе требует внедрения новых обучающих технологий и педагогических приемов, способствующих, с одной стороны, приобретению определенной системы ключевых компетенций, а, с другой – целенаправленному формированию самостоятельности, навыков и потребности в самообразовании. Прежде всего, современное инженерное образование предполагает высокий уровень подготовки молодых специалистов, в том числе предусматривает серьезную графическую подготовку, качество которой призвана обеспечить преподаваемая в вузе общетехническая дисциплина «Инженерная графика (Начертательная геометрия)». Данная дисциплина формирует систему общепрофессиональных компетенций, способность к инженерной инновационной деятельности и ее конструированию, оказывает значительное влияние на профессиональное и личностное становление будущих специалистов, способствует развитию их пространственного воображения, творческого и конструктивного мышления. Без живой силы воображения и наглядности мышления невозможно прийти и к абстрактной, математической формулировке проблемы, невозможно создавать понятия, а тем более осуществлять практически экспериментальные исследования. Результатом графической подготовки в вузе является графическая компетентность. При этом под графическими компетенциями понимаются компетенции, направленные на освоение обобщенных способов действий, кото-

рые основаны на знаниях, умениях и навыках применения стандартов и правил выполнения чертежей, способности свободного владения конструкторской документацией, позволяющие оперативно в ней ориентироваться и применять в профессиональной деятельности будущего инженера, в том числе морского и строительного профилей. Понятие графической компетентности специалиста исследователями рассматривается более широко, в направленности на его профессиональное развитие и совершенствование предусматривает также владение специальными знаниями, графическими умениями и практическими навыками с использованием современных компьютерных технологий.

Проведенные исследования и сравнительный анализ их результатов позволили сделать заключение о том, что графические компетенции не образуются самостоятельно, а требуют значительных усилий как со стороны преподавателей, так и обязательного заинтересованного мотивированного отношения студентов к учебно-воспитательному процессу. Учебно-методическое и информационное обеспечение включает необходимое количество литературы, учебных и наглядных пособий, тексты лекций и примеры решения типовых задач на бумажных и электронных носителях. Важной методической стороной обучения графике является развитие у студента сознательно активного подхода к обучению, основанного на ясном понимании поставленной задачи и глубоком изучении изображаемого объекта. Особое внимание студента заостряется на конструктивных особенностях изображаемых объектов, их объемной структуре.

Методическая работа по формированию навыков самоконтроля у студентов при выполнении чертежей проводится в три этапа:

- первый этап включает объяснение основных понятий, правил, условностей рассматриваемой темы дисциплины, а затем студенты выполняют графические задания. Преподаватель анализирует ошибки совместно со студентами и предлагает исправить их в выполненных чертежах. Такой прием помогает студентам осмыслить ошибки, а, следовательно, и изучаемое правило или условности выполнения чертежа;

- на втором этапе выявляется степень усвоения материала с помощью карточек экспресс-контроля. Анализ возникновения ошибки способствует формированию навыков самоконтроля, активизирует мыслительную деятельность студентов;

- третий этап предусматривает овладение умением применять знания в практической деятельности, т.е. во время самостоятельной аудиторной работы. Самоконтроль способствует оптимизации управления познавательной деятельностью студентов. Эта способность выводит его на одно из главных мест в процессе обучения в высшей школе

Важным условием активизации учебной деятельности студентов является рейтинговая система оценивания учебных поручений. В рамках нашего исследования на основании были сформированы объем необходимых компетенций с соблюдением твердого графика сдачи (защиты)

соответствующих модулей. По каждому из них разработаны варианты заданий для аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы.

Многолетняя практика преподавания и обмена опытом в методологии графических дисциплин в ведущих вузах г. Одессы показали, что формирование профессиональных компетенций будущих инженеров невозможно без тщательного изучения основ графической грамотности, суть которой лежит в дисциплине «Инженерная графика», так как с ее изучения начинается совершенствование навыков и элементов графической культуры. Формирование профессиональных графических компетенций будущих инженеров, соответствующих современным требованиям, предъявляемым к уровню подготовки будущих специалистов, будет значительно эффективнее, если в процессе подготовки данного специалиста будет уделяться особенное внимание дифференцированному обучению.

Изучение в технических вузах фундаментальных математических наук, а также начертательной геометрии и инженерной графики имеет очень важное значение в формировании будущего инженера. Сокращение объема в часах этой дисциплины обуславливает и уменьшение рассматриваемых программных вопросов. Однако, качественное изучение графических дисциплин возможно на основе комплексного подхода к учебному процессу. Большое значение при этом имеет наличие довузовской графической подготовки, которой, к сожалению, практически нет (во многих школах предмет «Черчение» отсутствует). В связи с этим у первокурсников возникают трудности, связанные с развитием пространственного воображения и в дальнейшем с чтением чертежей и другой технической документации.

В представленной работе обобщаются результаты экспериментальных исследований качественных показателей теоретического и прикладного графического образования студентов 1-го и 2-го курсов морских и строительных специальностей. Исследования проводились в десяти академгруппах общей численностью 225 студентов в 2014-2015 и 2015-2016 учебных годах. Для шести групп первокурсников в течение первого семестра на практических занятиях по единому плану выполнялись задания в виде экспресс-контроля знаний студентов. В режиме самостоятельной вне-аудиторной работы под руководством преподавателя отработывалась каждая графическая работа и контролировалось время ее выполнения. Для четырех групп второго курса выборочно проводились тестовые опросы по наиболее важным разделам дисциплины «Инженерная графика» с дифференцированной оценкой и аттестацией по критериям остаточных знаний. Отметим, что в каждом таком контроле принимали участие примерно 90 % студентов от общего количества в группе.

Следует подчеркнуть, что качественная организация самостоятельной работы студентов (СРС), а в дальнейшем – и сквозная графическая подготовка предполагает наличие необходимого аудиторного фонда – чертежных залов, компьютерных классов с выходом в Интернет.



Учебно-методическое и информационное обеспечение включает необходимое количество литературы, учебных и наглядных пособий, тексты лекций и примеры решения типовых задач на бумажных и электронных носителях; учебно-методическую документацию по организации различных видов самостоятельной работы; необходимое количество вариантов заданий и методических рекомендаций по их выполнению. Важной методической стороной обучения графике является развитие у студента сознательно активного подхода к обучению, основанного на ясном понимании поставленной задачи и глубоком изучении изображаемого объекта. Большое значение придается развитию стойких графических навыков, умению графически грамотно и выразительно выполнять чертежи и другую техническую документацию. Данная методика преподавания весьма трудоемка. Она требует от преподавателя не только глубоких знаний по профильному предмету. Для креативного преподавания для интересующихся, увлеченных и позитивно настроенных педагогов рекомендуется ориентироваться на активных целеустремленных студентов, чтобы при рассмотрении общей геометрической и графической информации можно было сформировать способность правильно воспринимать, перерабатывать и воспроизводить графическую информацию..

Итоговый анализ результатов проведенных исследований показал, что для повышения уровня качества обучения особое значение имеет самостоятельная работа, как важный фактор усвоения учебного материала, который формирует самостоятельность студента, уровень его индивидуальных умений, знаний, навыков, что для первокурсника сначала требует руководства преподавателя, а затем – без его непосредственного участия. СРС, по нашему мнению, должна систематически на 1-м курсе контролироваться преподавателем. И, наконец, стремление добиться лучших результатов в обучении показывают психологически мотивированные студенты, которые ощущают присутствие конкуренции в будущей профессии, которые заинтересованы в более глубоком освоении теоретического материала и практических навыков и учений.

**Выводы.** Отметим, что графическо-геометрическая подготовка специалистов морского и строительного профилей и использование информационных технологий в вузе играют важную роль в профессиональной деятельности – от степени овладения ими зависит ее эффективность и успешность, а также конкурентоспособность специалиста. Роль и место графических дисциплин в процессе подготовки инженерных кадров определяются новыми профессионально-техническими задачами, стоящими перед специалистом в сфере его деятельности. Это, прежде всего, умение решать комплексные научно-технические, технологические и другие функциональные задачи, системно, алгоритмически и ассоциативно мыслить, четко планировать структуру действий, необходимых для достижения заданной цели, умение визуально представить результат своей деятельности.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бредньова В.П. *Нарисна геометрія. Конструктивні та прикладні задачі з елементами теорії: Навч. посібн. для вищих навч. закл.* – Одеса: Астропринт, 2013. – 196 с.
2. Бредньова В.П., Бредньов А.М. *Про дослідження та моніторинг якості навчання графічним дисциплінам студентів-першокурсників будівельних спеціальностей: Матеріали XX Міжнар. наук.-метод. конф. «Управління якістю підготовки фахівців».* – Одеса: ОДАБА, 2015. част.2. – С. 62.
3. Бредньова В.П., Бредньов А.М. *Про компетентісний підхід до методології викладання графічних дисциплін для студентів-першокурсників будівельних спеціальностей: Матеріали XXI Міжнар. наук.-метод. конф. «Управління якістю підготовки фахівців».* – Ч. 2. – Одеса: ОДАБА, 2016. – С. 27-28.
4. Бредньова В.П., Калінін О.О., Калініна Т.О. *Про компетентісний підхід та удосконалення організації навчального процесу вивчення дисципліни «Інженерна графіка»: Матеріали XXII Міжнар. наук.-метод. конф. «Управління якістю підготовки фахівців».* – Ч. 2. – Одеса: ОДАБА, 2017. – С. 30.
5. Bredneva V., Kosharskaya L., Linetskaya A. *Drawing training of students – main basis engineers' education // Вісник ОНМУ.* – Одеса: Вид-во ОНМУ, 2016. – № 3(49). – С. 152-157.

Стаття надійшла до редакції 25.05.2017

### Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Інженерної графіки та технічного дизайну Одеської національної академії харчових технологій **Л.О. Іванова**

кандидат технічних наук, професор кафедри Нарисної геометрії та інженерної графіки Одеської державної академії будівництва та архітектури **В.С. Марченко**

АВТОРИ ЗБІРНИКА

---

**Автутов Микола Володимирович** – головний конструктор, директор по перспективному розвитку Морського інженерного бюро, м. Одеса

**Блажко Анатолій Петрович** – доцент кафедри «Енергетичного та водогосподарського будівництва» Одеської державної академії будівництва та архітектури

**Богатенко Ірина Миколаївна** – аспірант Одеського національного морського університету

**Бредньова Віра Петрівна** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Нарисна геометрія та інженерна графіка» Одеської державної академії будівництва та архітектури

**Вишневська Ольга Дмитрівна** – ст. викладач кафедри «Морські перевезення» Одеського національного морського університету

**Вичужанін Володмир Вікторович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету

**Данілян Анатолій Григорович** – старший викладач кафедри Судноводіння і енергетики суден Національного університету «Одеська морська академія», механік першого розряду

**Єгоров Геннадій В'ячеславович** – доктор технічних наук, професор, генеральний директор Морського інженерного бюро, м. Одеса

**Єгоров Олександр Геннадійович** – мол. наук. співпрацівник Морського інженерного бюро, м. Одеса

**Залож Віталій Іванович** – асистент кафедри Інженерних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

**Льницький Ігор Анатолійович** – 1-й заступник генерального директора Морського інженерного бюро, м. Одеса

**Каніфольський Олександр Олегович** – кандидат технічних наук, в.о. доцента кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

АВТОРИ ЗБІРНИКА

---

**Коновалов Сергій Миколайович** – аспірант Одеського національного морського університету

**Коскіна Юлія Олексіївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Комерційне забезпечення транспортних процесів» Одеського національного морського університету

**Кошарська Людмила Вікторівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету

**Ларкін Юрій Маркович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

**Мартинов Лев Валеріанович** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету

**Онищенко Світлана Петрівна** – доктор економічних наук, доцент, завідувач кафедри «Комерційне забезпечення транспортних процесів» Одеського національного морського університету

**Осадчий Володимир Степанович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри Енергетичного та водогосподарчого будівництва Одеської державної академії будівництва та архітектури

**Панченко Тетяна Дмитрівна** – виконуючий обов'язки асистента кафедри «Технічна кібернетика ім проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

**Пипченко Олександр Дмитрович** – кандидат технічних наук, викладач Одеського морського тренажерного центру, капітан далекого плавання

**Руденко Михайло Игоревич** – курсант четвертого курсу судномеханічної спеціальності Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

**Синиця Роман Валерійович** – асистент кафедри Енергетичного та водогосподарчого будівництва Одеської державної академії будівництва та архітектури

АВТОРИ ЗБІРНИКА

---

**Тонюк Валерій Іванович** – технічний директор Морського Інженерного бюро, м. Одеса

**Тузова Ірина Анатоліївна** – старший викладач кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

**Челабчі Володимир Вікторович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

**Челабчі Віктор Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

ВИМОГИ  
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

---

Редакційна колегія збірника наукових праць запрошує науковців до співробітництва в галузі інформування науково-технічної громадськості про нові теоретичні і практичні досягнення у сфері функціонування різних видів транспорту.

У журналі публікуються оригінальні та оглядові статті проблемного і дискусійного характеру.

Статті публікуються на одній з трьох мов: українській, російській або англійській.

Стаття повинна задовольняти вимогам ВАК України до публікацій статей у періодичних наукових виданнях.

Редакційна колегія приймає лише наукові статті, які мають такі елементи: постановка проблеми, огляд останніх досліджень і публікацій з цієї проблеми, формулювання завдання дослідження, виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів, висновки з цього дослідження, список використаних джерел.

Стаття має відповідати тематичному спрямуванню збірника і бути завізована власноручно підписом автора.

Матеріал необхідно викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літературні джерела. Одиниці виміру слід подавати лише за міжнародною системою одиниць SI або в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно до вимог чинних державних стандартів.

Рекомендований обсяг статті, що включається у збірник, **не менше 6 та не більше 15 сторінок**.

Для опублікування у збірнику необхідно до підписаної всіма авторами статті та рефератів додати такі документи:

- ✓ експертний висновок;
- ✓ 2 рецензії фахівців з науковим ступенем за профілем статті (бажано докторів технічних наук), завірені печаткою;
- ✓ рекомендацію відповідної кафедри, лабораторії або наукового підрозділу, що рекомендує статтю до друку;
- ✓ авторську довідку, якщо автор подає рукопис до Видавництва ОНМУ вперше, з зазначенням місця роботи, посади, вчених ступенів і звань, адрес і телефонів.

Рішення про публікацію статті у збірнику приймає редакційна колегія на підставі висновку рецензентів про її наукове та практичне значення.

**ВИМОГИ  
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ**

---

**Вимоги до оформлення тексту статті**

Редакційна колегія приймає до роботи диски і один примірник роздрукованого текстового оригіналу (файлів), що є на диску. Текстовий редактор **Word** – файли в форматі (Word 97-2003 & 6.0/95 RTF).

Необхідно додержуватись головної вимоги – відповідність шрифтів документа його формату. Оформлення рівнозначних фрагментів документа (заголовків, підписів під рисунками, формул тощо), позначень ідентифікаторів перемінних та констант повинно бути однаковим по всій роботі. Одна і та ж величина (фізична, хімічна, економічна тощо) повинна мати однакове начертання літер.

Текст набирається з додержанням нижченаведених правил:

- ✓ абзаци відокремлюються один від одного одним маркером кінця абзацу (застосування цього символу в інших цілях не допускається);
- ✓ усі слова всередині абзацу розділяються тільки одним пробілом;
- ✓ перед розділовим знаком пробіли не ставлять, після розділового знака – один пробіл;
- ✓ після ініціалів (перед прізвищем), перед скороченнями і між ними ставиться нерозривний пробіл;
- ✓ виділення курсивом, напівжирним, великими літерами забезпечуються засобами Word.

**Розміри полів на сторінках видання**

Розмір паперу – формат А4 210 x 297 мм.

- ✓ верхнє – 2 см;
- ✓ нижнє – 3 см;
- ✓ ліве – 2,5 см;
- ✓ праве – 1,5 см.

Стиль, рекомендований для друку – Times New Roman, 14 пт;  
рядковий;

вирівнювання – по ширині;  
міжрядковий інтервал – одинарний;  
заборона висячих рядків;  
режим переносу слів – відключений.

**Розстановка переносу слів ручним способом забороняється!**

У лівому куті статті зверху проставляється індекс УДК, ініціали та прізвища авторів передують заголовку і друкуються рядковими літерами – по центру.

ВИМОГИ  
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

---

**Назва статті**

- ✓ відступ – 0,75;
- ✓ шрифт – Arial Суг, 14 пт, великий;
- ✓ напівжирний;
- ✓ вирівнювання – по центру.

**Редакційна колегія звертає увагу авторів на те, що назва статті повинна коротко і максимально точно відображати суть проведених досліджень.**

**Анотація складається обов'язково трьома мовами:** українською, російською обсягом 50-60 слів. Обсяг англійської анотації має бути розширеним – 100-250 слів.

Анотації повинні бути:

- інформативними (не містити загальних, нічого не значущих слів);
- змістовними (відображати основний зміст статті і результати досліджень);
- структурованими та компактними;
- англійська анотація повинна бути написана якісно.

**Ключові слова – обов'язково трьома мовами:** українською, російською та англійською (5-10 слів) наводяться після анотації.

**Основний текст** відображує зміст статті та нові наукові досягнення. У статті рекомендується виділення основних розділів:

**Вступ** .....

**Аналіз основних досягнень і літератури** .....

**Мета дослідження, постановка задачі** .....

**Матеріали досліджень** .....

**Результати досліджень** .....

**Висновки** .....

Текст статті починається через один порожній рядок після ключових слів анотації.

Назви розділів друкуються жирним шрифтом. Посилання в тексті на рисунки та таблиці мають вигляд (рис. 1), (табл. 1), або (див. рис.1, а); (у табл. 2). Посилання на літературу надаються у квадратних дужках, наприклад, у [3], у [4; 6], або [2-5].

У тексті рекомендується використовувати тире середньої довжини.



**ВИМОГИ  
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ**

**Розміри для введення формул**

- ✓ основний – 16 пт;
- ✓ крупний індекс – 12 пт;
- ✓ дрібний індекс – 10 пт;
- ✓ крупний символ – 18 пт;
- ✓ дрібний символ – 14 пт;
- ✓ перемінна – курсив (на 2 пт більше базового);
- ✓ функція и константи – прямий шрифт (на 2 пт більше базового);
- ✓ скорочення в індексах – прямий шрифт.

**Математичні формули** набирають тільки вбудованим редактором формул Microsoft Equation 3.0. Вони потребують однакового написання та розміщення елементів. Індeksi та показники степеня повинні бути однаковими за розміром, але не більше ніж у два рази меншими за основну строку формули та однаково опущеними чи піднятими по відношенню до лінії основного рядка формули, щоб при зменшенні в 1,5 рази вони безпомилково читались.

Номери формул позначають арабськими цифрами у круглих дужках, розташовуючи їх біля правого краю полоси. У разі, якщо номер не вміщується у рядку формули, його виділяють у наступний за формулою черговий рядок. Біля формули, що займає декілька рядків, номер ставлять біля останнього рядка, біля формули-дроби – навпроти основної ділильної лінійки. Невеликим формулам у одному рядку, якщо вони складають єдину групу, присвоюють один загальний номер. Групу формул, розташованих окремими рядками, охоплюють справа чи зліва парантезом і номер групи розташовують проти його вістря, а якщо парантеза справа нема – проти середини цієї групи.

Якщо формула набирається у редакторі формул шрифтом Times курсивом, то і по тексту символи необхідно набирати курсивом, тобто символи по тексту повинні відповідати символам у редакторі формул.

Якщо формула набирається шрифтом Arial не курсивом, то і по тексту символи повинні відповідати формулі.

**Рисунки** набираються по тексту, повинні бути згрупованими, розмір не повинен перевищувати 10x12 см.

Підписи та надписи у графічних об'єктах (рисунках, схемах та т. інш.) неможна робити за допомогою інструменту надпису панелі інструментів (Рисування) у зв'язку з тим, що при збільшуванні чи зменшуванні графічних об'єктів текстові блоки викривлюються.

Для створення графічних об'єктів рекомендується використовувати графічні програми Paint, Corel Draw, AutoCad та інш.

ВИМОГИ  
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

---

Середня кількість ілюстрацій за обсягом не повинна перевищувати 20 % авторського тексту, що при розмірі 10x12 см складе 7-8 рисунків на авторський лист.

Якщо рисунок у статті один, то він не нумерується, посилання на нього робиться словом «рисунок» без скорочення, а під самим рисунком слово «рисунок» не пишеться. Підпис з експлікацією без підпису (теми зображення) неприпустиме.

Підпис завжди починають з великої літери, експлікації – з малої. Крапки у кінці підпису не ставлять. Після основного підпису, якщо далі йде експлікація, прийнято ставити двокрапку. Елементи експлікації відділяють один від одного крапкою з комою, а цифрові або буквені позначення від тексту пояснення – знаком тире.

**Таблиці.** Ширина таблиці повинна відповідати ширині текстового блоку видання. Розмір шрифту для набору таблиці – 14 кегль. Допускається розмір шрифту – 12 кегль.

Таблиці повинні бути надруковані у тексті після абзаців, що мають посилання на них. Таблиця має нумераційний заголовок та тематичний заголовок, що визначає її тему та зміст (без розділового знака на кінці).

Якщо в тексті одна таблиця, нумераційний заголовок не пишеться. Тематичний заголовок не пишеться у таблиці допоміжного характеру, у такій, що немає самостійного значення.

Основні вимоги до тематичного заголовка – точність, відповідність призначенню, зміст таблиці, виразність та короткість.

Над таблицею, що продовжується, пишеться нумераційний заголовок «Продовження табл. \_ », якщо вона не закінчена, або «Закінчення табл. \_ », якщо закінчена.

Текст таблиці не повинен виходити за лінії, що обмежують графи. Числа у таблиці, що мають більше чотирьох цифр, повинні ділитися на класи по 3 цифри, інтервалом у один пробіл (виняток номери та дати).

Таблиці повинні бути закритими з боків та внизу. Графу «Номер з/п» давати тільки тоді, коли є посилання на цю нумерацію.

*Заголовки граф* ставлять у називному відмінку однини чи множини без довільного скорочення слів.

У однарусній головці усі заголовки пишуться з великої літери.

У дво- і багаторусній головці заголовки верхнього ярусу пишуться з великої літери, а заголовки наступних ярусів – з великої літери, якщо вони граматично не підпорядковуються заголовку верхнього ярусу, що стоїть над ними.

*Примітки та виноски* за змістом таблиці необхідно друкувати тільки під таблицею. *Виноски* позначаються *зірочкою*.

**ВИМОГИ  
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ**

---

**Література**

**Список літератури** подається в порядку посилання. Неприпустиме посилання на неопубліковані та незавершені праці.

**Матеріали і документи, які не повністю оформлені або не відповідають усім вимогам, не розглядаються.**

**УВАГА!**

**Матеріали, що подаються для опублікування, повинні бути актуальними, виключати паралелізм та дублювання.**

Передрукування та будь-яке використання матеріалів здійснюється з обов'язковим посиланням на збірник.

Автори несуть повну відповідальність за науковий зміст, точність фактичних даних, посилань на джерело, а також ілюстративного матеріалу і цитат.

Редакція не завжди поділяє позицію авторів публікацій.

ВИМОГИ  
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

---

Приклади бібліографічного опису документа

**Опис книги одного автора**

Іванов О.К. Економічний аналіз: Учебний посібник / О.К. Іванов.  
– СПб.: Вид. СПбГТУ, 1998. – 88 с.

**Опис книги двох авторів**

Гаврикова Т.А. Дислокация в кристаллах: Учебн. пособие /  
Т.А. Гаврикова, Б.А. Зыков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – 72 с.

**Опис книги трьох авторів**

Сергеев К.Г. Физические методы контроля качества материалов и  
продукции: Учебн. пособие / К.Г. Сергеев, Н.А. Столярова, И.И. Горш-  
ков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – 52 с.

**Опис книги під редакцією**

Пористые проницаемые материалы: Справ. / Под ред. С.В. Белова.  
– М.: Металлургия, 1987. – 333 с.

**Опис методичних вказівок**

Управление проектами: Метод. указания / В.П. Капитанов. –  
Одесса: Изд-во ОНМУ, 2005. – 37 с.

**Опис складової частини видання**

Ильф И.А. Источник веселья / И.А. Ильф, Е.П. Петров // Собр.  
соч.: В 5 т. – М., 1961. – Т.5. С.94-97.

**Опис статті зі збірника, книги**

Кириллов В.Н., Демидюк А.В., Тошюк В.И. Экспериментальная  
установка для исследования гидродинамических характеристик  
продольной качки моделей судов // Вісник ОДМУ. – Одеса: Вид-во  
ОДМУ. – 1998. – № 1. – С.90-93.

**Опис статті з журналу**

Вечорин Е.Л., Константин Петрович Боклевский / Е.Л. Вечорин //  
Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 1999. – № 1(15). – С. 113.

Синтез перенасыщенных аналогов пенициллина / Е.Ф. Панарин,  
М.В. Соколовский, М.Б. Беров, М.А. Жукова // Изв. АН СССР. Сер. хим.  
– 1974. – № 10. – С. 2300-2303.

ВИМОГИ  
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

---

**Опис статті з газети**

Немировский Е.Л. Первопечатник Иван Федоров / Е.Л. Немировский // Лит.газ. – 1984. – 5 мая. – С.16.

**Опис стандартів**

ГОСТ 7.1-84 СИБИД. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила оформления. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 76 с.

**Опис патентних документів**

А.с. 1254421 СССР, МКИ G 03 G 15/00. Электрографический микрофильмирующий аппарат / А.Г. Арутюнов (СССР). Опубл. 23.06.86. Бюл. № 32.

**Опис авторефератів дисертацій**

Касимовский Н.И. Разработка оксидного катализатора: Автореф. дис. ... канд. техн. наук // Н.И. Касимовский; ЛТИ им. Ленсовета. – Л., 1988. – 16 с.

**Опис дисертації**

Талишинский Р.Р. Документализм в публицистике: Дис. ... канд. филол. наук / Р.Р. Талишинский; Моск.гос.ун-т. – М., 1986. – 203 с.

**Опис іноземних літературних джерел** підпорядковується тим же правилам. Наприклад:

Wyner F. The wire-tap channel / A. Wyner// Bell Sistem Technical J. – 1975. – Vol. 54. – № 3. – P. 1355-1387.

**ВІСНИК  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**Збірник наукових праць**

**Випуск 2 (51)**

Засновник – Одеський національний морський університет

*Українською, російською  
та англійською мовами*

Видається з червня 1997 р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 4242 від 26.12.2011 р.

---

Підписано до друку з оригінал-макету 12.05.2017.  
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 12,75.  
Замовлення № 75.

Надруковано у Видавництві ОНМУ  
65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.  
Тел. 728 31 14