

# ВІСНИК



ОДЕСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ

2(48)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**ВІСНИК  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Збірник наукових праць*

**ВИПУСК 2 (48)**

*Заснований у червні 1997 року*

**Одеса – 2016**

ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№ 2 (48)  
2016

Заснований у червні 1997 року

Виходить 4 рази на рік

Свідцтво 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 економ. 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>Бассерман 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 економ. наук, проф.	<i>Латкіна І.О.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Дубровський М.П.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Махуренко Г.С.</i>
д-р техн. наук	<i>Дульнев О.І. (Росія)</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Постан М.Я.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Єгоров Г.В.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Сизов В.Г.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Єзунов К.В.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Яровенко В.О.</i>

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Одеського національного морського університету  
(протокол № 4 від 26 жовтня 2016 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

**ВИДАТНІ ВЧЕНІ ОНМУ**

<b>Мошнянский А.Ф.</b> Вассерман Александр Анатольевич – 60 лет посвященных ОИИМФ-ОНМУ .....	5
<b>Мошнянский А.Ф.</b> Памяти выпускника ОИИМФ академика НАН Украины Владимира Ивановича Махненко .....	9

**ТЕОРІЯ І ПРОЕКТУВАННЯ КОРАБЛЯ**

<b>Егоров Г.В.</b> О создании нового поколения «сверхполных» грузовых судов смешанного река-море и внутреннего плавания .....	12
<b>Егоров Г.В.</b> Анализ состояния и перспективные задачи судостроения для водного транспорта .....	49
<b>Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Калугин Я.В.</b> Обоснование концепта круизного пассажирского судна река-море плавания, в том числе для Каспия и Черного моря .....	98
<b>Ефремова Н.В., Федорова Е.Ю.</b> Особенности применения метода деформируемых координат к определению потенциала скоростей прогрессивного волнения конечной амплитуды на глубокой воде и мелководье .....	127

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

**БЕЗАВАРІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

<b>Suhire E.</b> Miracle-on-the-Hudson: quantitative aftermath .....	138
---	-----

**БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА,  
МІЦНІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ СУДЕН ТА СПОРУД**

<b>Shumylo O.M., Kononova O.M.</b> Assessment of average resource of ship's shafting .....	173
<b>Андреев А.В., Бычков А.С., Кондратьев А.В.</b> Эксплуатационная несущая способность конструкций отечественных и зарубежных воздушных судов транспортной категории из полимерных композиционных материалов. Часть 2. Анализ видов, характера и частоты эксплуатационных повреждений .....	180

**ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ  
ЕКСПЛУАТАЦІ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ**

<b>Мошнянський А.Ф., Мошнянський А.А., Чумак О.А.</b> Решення задач охолодження скоропортящихся грузов при транспортировке морем .....	195
<b>Кутяков Д.В., Мошнянський А.Ф.</b> Информационные технологии в судовой энергетике .....	203
<b>Никифоров Ю.А., Кошарская Л.В.</b> Задачи контроля и технического диагностирования состояния судовой техники .....	210

**УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ І ПРОГРАМАМИ**

<b>Руденко С.В., Челабчі В.В.</b> Орієнтація проекту «повітроохолоджувачі непрямого випарного типу» .....	216
<b>АВТОРИ</b> .....	225
<b>ВИМОГИ ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ</b>	227

**ВАССЕРМАН  
АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ –  
60 ЛЕТ ПОСВЯЩЕННЫХ ОИИМФ-ОНМУ**



Исполнилось 85 лет со дня рождения и 60 лет научно-педагогической деятельности видного ученого, доктора технических наук, профессора, лауреата премии Совета Министров СССР, заслуженного деятеля науки и техники Украины **Александра Анатольевича Вассермана**. Он известен своими научными трудами, как в ближнем, так и в дальнем зарубежье и относится к тем выпускникам ОИИМФа, чьи имена создают славу нашему университету.

**Александр Анатольевич** – коренной одессит, окончивший среднюю школу с золотой медалью, а в 1953 г. с отличием судомеханический факультет ОИИМФ. После двух лет работы на Рижском судостроительно-судоремонтном заводе и года на Одесском заводе «Автогенмаш» он вернулся в родной ОИИМФ уже в качестве старшего инженера научно-исследовательского сектора.

Вначале он активно участвовал в создании новой дизельной лаборатории. Затем под руководством доцентов **Абрама Ассировича Старосельского** и **Леонида Петровича Бурьшкіна** занимался исследованиями износа и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания и написал по этой тематике ряд статей. Однако наибольшую роль в его становлении как научного работника сыграл профессор **Яков Захарович Казавчинский**, под влиянием которого **А.А. Вассерман** начал исследовать термодинамические свойства газов.

**Александр Анатольевич** часто с благодарностью вспоминает своих учителей и приложил большие усилия для установки мемориальной доски в честь **Я.З. Казавчинского** на доме, где жил профессор, основавший Одесскую теплофизическую школу.

В 1962 г. по заданию Всесоюзного НИИ кислородного машиностроения **А.А. Вассерман** приступил к составлению таблиц термодинамических свойств и диаграмм состояния воздуха, азота и кислорода. При выполнении этой работы он подготовил кандидатскую диссертацию, которую защитил в 1964 г. в Одесском технологическом институте имени М.В. Ломоносова.

В 1966 году в издательстве АН СССР «Наука» была выпущена монография **А.А. Вассермана, Я.З. Казавчинского и В.А. Рабиновича** «Теплофизические свойства воздуха и его основных компонентов». Спустя два года **А.А. Вассерман** и **В.А. Рабинович** опубликовали в издательстве монографию по свойствам этих веществ в жидком состоянии. Обе монографии были одними из первых по данной тематике в мировой литературе и до настоящего времени используются специалистами по криогенной технике.

При активном участии **А.А. Вассермана** в 1966 году при кафедре термодинамики ОИИМФа была организована проблемная лаборатория судовой холодильной техники, в которой он 15 лет руководил научным отделом прикладной термодинамики.

Отдел участвовал в международной программе составления таблиц термодинамических свойств технически важных газов и стал одним из ведущих центров страны в области свойств веществ.

В проблемной лаборатории **А.А. Вассерман** разрабатывал методы составления уравнений для расчета теплофизических свойств газов и жидкостей с одновременным внедрением программного обеспечения. Результаты его работы отражены во многих статьях и ряде докладов на Всесоюзных теплофизических конференциях. Они отличались оригинальностью и глубиной и заняли видное место в теплофизической науке. Эти разработки составили основу докторской диссертации **Александра Анатольевича** «Методы аналитического описания и расчета теплофизических свойств газов и жидкостей и применение их для технически важных веществ». Диссертация была защищена в специализированном совете Института высоких температур АН СССР в 1980 г.

Методы, разработанные в указанной диссертации, использованы при подготовке фундаментальных монографий Государственной службы стандартных справочных данных по термодинамическим свойствам азота, кислорода, воздуха, метана, этана, этилена, пропана и гелия (1977-1989 г.). Коллектив авторов монографий возглавлял известный ученый, председатель Комиссии АН СССР по таблицам термодинамических свойств газов и жидкостей профессор **В.В. Сычев**.

К изданиям ГСССД относится также подготовленная при участии **А.А. Вассермана** монография по теплофизическим свойствам неона, аргона, криптона и ксенона (1976 г.).

За 60 лет научно-педагогической деятельности **Александр Анатольевич** опубликовал более 320 научных и учебно-методических работ. Среди них 16 монографий и 13 таблиц стандартных справочных данных. Большинство монографий переиздано в США, а таблицы ССД утверждены Госстандартами СССР и Украины в качестве официальных. Он достойно представлял отечественную науку на многих международных конференциях и в некоторых зарубежных университетах, читая лекции научным сотрудникам.

Монографии и таблицы ССД явились существенной частью комплексной системы оперативного обеспечения народного хозяйства нормативно-справочными данными о теплофизических свойствах технически важных газов и жидкостей. В 1987 г. за разработку этой системы **А.А. Вассерман** в составе группы ведущих теплофизиков был удостоен премии Совета Министров СССР. Это явилось также признанием научных заслуг Одесской теплофизической школы, зародившейся в ОИИМФ.

После защиты докторской диссертации **Александр Анатольевич** в 1981 г. стал доцентом, а в 1984 г. профессором кафедры термодинамики нашего вуза. Он более 20 лет был заместителем председателя научно-методического совета и активно участвовал во внедрении в учебный процесс прогрессивных элементов обучения студентов и контроля их знаний.

За успехи в научной работе и подготовке высококвалифицированных специалистов для морского флота **А.А. Вассерман** в 1991 г. награжден значком «Почетному работнику морского флота».

Более 15 лет он был членом специализированного совета по защите докторских диссертаций при ОИИМФ, а с 1997 г. является членом аналогичного совета при Одесской государственной академии холода (ныне входит в состав Одесской национальной академии пищевых технологий). Подготовил шесть кандидатов технических наук и неоднократно был официальным оппонентом по докторским и кандидатским диссертациям. Многие выпускники ОИИМФ-ОНМУ считают его своим учителем.

**А.А. Вассерман** проводит большую научную работу на общественных началах. С 1966 по 1991 г. он был членом бюро Комиссии АН СССР по таблицам термодинамических свойств газов и жидкостей, председателем Советской и членом Международной рабочей группы по



свойствам атмосферных газов. С 1983 по 1991 г. являлся членом Научного Совета АН СССР по проблеме «Теплофизика и теплоэнергетика».

В течение многих лет он был членом секции Научно-технического Совета Госстандарта, экспертом Государственной службы стандартных справочных данных и членом редколлегии сборника «Теплофизические свойства веществ».

В 1991 г. включен в состав Подкомитета по транспортным свойствам веществ Международного союза по теоретической и прикладной химии.

Как видный ученый **А.А. Вассерман** избран членом Транспортной академии Украины (1993 г.) и членом Международной академии холода (1998 г.). С 1994 г. он член научно-методической Комиссии Министерства образования Украины по направлению «Энергетика». В течение многих лет является заместителем председателя Комиссии Совета ректоров вузов Одесского региона по анализу и подведению итогов их деятельности, входит в состав редколлегий трех научных журналов, в том числе журнала «Вісник ОНМУ».

Свой юбилей **Александр Анатольевич** встретил в хорошей творческой форме, подтвердив свою исключительную работоспособность. Он выступал в этом году с докладами на двух научных семинарах, организованных Восточноевропейской ассоциацией производителей технических газов, и представил доклады на две конференции, проведенные в Херсонской государственной морской академии.

Все изложенное в данной статье является далеко неполной информацией о том, что ему удалось сделать за свою трудовую деятельность.

Следует отметить высокую эрудицию **А.А. Вассермана** как одного из самых читающих среди сотрудников. Он является интересным собеседником и щедро делится своими знаниями с коллегами, аспирантами и студентами. Это отмечают, в частности, некоторые выпускники ОИИМФ-ОНМУ в своих стихах. Он поддерживает связь со многими учеными, работающими в других институтах, особенно с нашими выпускниками.

Коллектив Одесского национального морского университета и редколлегия журнала «Вісник ОНМУ» сердечно поздравляют **Александра Анатольевича** с юбилеем и желают ему доброго здоровья и долгих лет плодотворной научно-педагогической деятельности.

**Мошнянский А.Ф.** – профессор кафедры «Техническая кибернетика им. проф. Р.В. Меркта» ОНМУ

*Стаття надійшла до редакції 05.10.2016*

**ПАМ'ЯТИ ВПУСКНИКА ОИИМФ  
АКАДЕМИКА НАН УКРАЇНИ  
ВЛАДИМИРА ІВАНОВИЧА МАХНЕНКО**



С 19 сентября по 23 сентября в Одессе состоялась VIII-я Международная конференция «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах», которая была посвящена памяти выпускника ОИИМФа-ОНМУ академика НАН Украины **Владимира Ивановича Махненко**.

С докладами на конференции выступили представители Германии, Грузии, Израиля, Китая, Чехии, Сербии, Эстонии. Организаторами конференции были Национальная академия наук Украины, институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Международная Ассоциация «Сварка».

Меня пригласили выступить на открытии конференции с докладом о начале научной деятельности выпускника ОИИМФа **В.И. Махненко**, с которым мне посчастливилось проработать в одной научной лаборатории в течение четырех лет и в дальнейшем наши отношения не прерывались.

Академия наук – высшее научное учреждение, объединяющее в качестве своих членов наиболее выдающихся ученых страны. Основными задачами АН являются: развитие фундаментальных исследований в области естественных и общественных наук; выявление принципиально новых возможностей технического прогресса и др. АН Украины основана в 1919 году. Имеются отделения: математики, механики и кибернетики, физики, технической теплофизики и много других, в т. ч. они есть и могут быть в разных городах. Академики избираются Общим собранием данной академии. Право выдвижения кандидатов в академики предоставлено научным организациям.

Академик АН Украины **Махненко Владимир Иванович** – воспитанник ОИИМФа (Водного). Родился в 1931 году в г. Черкассы. В 1955 году окончил кораблестроительный факультет ОИИМФа. После окончания Водного работал на заводе «Красная кузница» в Архангельске. В декабре 1959 года стал аспирантом ОИИМФа. Из-за отсутствия в ОИИМФе специалистов по сварке на тот момент руководителем диссертационной работы **Владимира Махненко** был назначен академик института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины **Константин Константинович Хренов**.

В 1963 году **Владимир Иванович** защитил кандидатскую диссертацию и перешел на преподавательскую работу на кафедру «Технология материалов» ОИИМФа. Защита диссертации проходила в Киеве, и академик **К.К. Хренов** отметил, что это был наилучший аспирант в его научной жизни. В 1964 году **Владимир Махненко** был приглашен на работу в институт электросварки им. Е.О. Патона. Руководство ОИИМФа не давало согласие на его перевод в Киев. Но работы **Махненко** опережали аналогичные разработки в зарубежной практике (позже подтвердилось, что опережение составило 12 лет) и тогда Президент АН Украины **Б.Е. Патон** поехал в Москву и обратился к **Н.С. Хрущеву**. Из Москвы пришла телеграмма в ОИИМФ, в которой предписывалось отпустить **В.И. Махненко** и найти ему замену. **В.И. Махненко** возглавил отдел математических методов исследования физико-химических процессов при сварке и спецметаллургии. В 1973 году он защитил докторскую диссертацию, а в 1978 году был избран членом-корреспондентом АН УССР. Мировую известность получили исследования **В.И. Махненко** в процессах спецметаллургии, изучении физических явлений при сварке, по кинетике многоосных сварочных напряжений и деформаций при сварке элементов сложных конструкций. Многолетние исследования он обобщил в ряде своих монографий, среди которых можно выделить «Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций» 1976 г., 320 стр., «Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций» 2006 г., 620 стр.». В последней из названных монографий обобщены исследования, позволяющие использовать их применительно к магистральным трубопроводам, оборудованию атомной и тепловой энергетики, крупных хранилищ нефти и газа, мостам

и мостовым переходам, плотинам, туннелям, элементам металлургического оборудования и к другим конструкциям. Исследования основаны на мониторинге эксплуатационной нагруженности, на данных технической диагностики состояния сварных соединений (узлов) и соответствующих расчетных кодах для прогнозных оценок. Он является также соавтором многих монографий. В 1990 году избирается академиком АН Украины. Его работы изданы в Англии, Германии, США, Японии. Принимал активное участие в международном сотрудничестве и являлся членом бюро отделения физико-технических проблем материаловедения АН Украины, членом редколлегий журналов «Автоматическая сварка» и «Сварочное производство».

**Владимир Иванович** – создатель школы по математическому моделированию тепловых, диффузионных, электромагнитных и др. физических явлений при сварке. Он подготовил 25 кандидатов и 3 доктора технических наук, среди которых есть и выпускники Водного. Он – автор более 360 научных трудов, заслуженный деятель науки и техники Украины (2004), лауреат Государственной премии Украины (2008), награжден правительственными наградами.

Уйдя из жизни в 2013 году, **Владимир Иванович** оставил заметный след в научной среде. В 2016 году был издан коллективный учебник «Напруження та деформації при зварюванні і паянні» под общей редакцией академика НАН Украины доктора технических наук, профессора **Л.М. Лобанова**. Учебник посвящается памяти академика Национальной академии наук Украины, доктора технических наук, профессора **Владимира Ивановича Махненко**.

Одним из соавторов учебника является выпускник кораблестроительного факультета ОИИМФа-ОНМУ, признанный специалист в области конструирования судов, доктор технических наук, профессор **Геннадий Вячеславович Егоров** – генеральный директор Морского инженерного бюро, г. Одесса.

**Анатолий Мошнянский** – к.т.н., профессор кафедры «Техническая кибернетика им. проф. Р.В. Меркта» ОНМУ

*Стаття надійшла до редакції 05.10.2016*

УДК 629.5.01

Г.В. Егоров

### О СОЗДАНИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ «СВЕРХПОЛНЫХ» ГРУЗОВЫХ СУДОВ СМЕШАННОГО РЕКА-МОРЕ И ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ

*Обоснован выбор и разработана концепция судна смешанного река-море и речного плавания с большим коэффициентом общей полноты. Приведены результаты анализа путевых условий. Определен наиболее оптимальный вариант пропульсивного комплекса, формы обводов и коэффициента общей полноты. Выполнена проработка концепта для работы на сжиженном природном газе (СПГ). Предложена линейка «сверхполных» судов, показана их практическая эффективность.*

**Ключевые слова:** судно смешанного река-море плавания, речное судно, проектирование, основные характеристики, путевые условия, пропульсивный комплекс, коэффициент полноты, СПГ, экономика.

*Обґрунтовано вибір і розроблено концепцію судна змішаного ріка-море і річкового плавання з великим коефіцієнтом загальної повноти. Наведено результати аналізу путєвих умов. Визначено найбільш оптимальний варіант пропульсивного комплексу, форми обводів і коефіцієнта загальної повноти. Виконано опрацювання концепту для роботи на зрідженому природному газі (ЗПГ). Запропоновано лінійку «понадповних» суден, показано їх практичну ефективність.*

**Ключові слова:** судно змішаного ріка-море плавання, річкове судно, проектування, основні характеристики, путєві умови, пропульсивний комплекс, коефіцієнт загальної повноти, ЗПГ, економіка.

*The choice is grounded and the concept of river-sea and river navigation vessel with big block coefficient is developed. Results of way conditions analysis are set. The most optimal option of propulsive complex, hull forms and block coefficient are defined. Workup of liquefied natural gas (LNG) concept is executed. Line-up of «superfat» vessels is proposed, practical efficiency is shown*

**Keywords:** river-sea vessel, river vessel, design, main characteristics, way conditions, propulsion complex, block coefficient, LNG, economy.

Сегодня наиболее заметным явлением в водотранспортной отрасли является массовая постройка необычных для всей практики мирового судостроения «сверхполных» танкеров смешанного река-море плавания проекта RST27 и созданных на их базе комбинированных судов (танкеров-площадок) проекта RST54 [12; 19].

Действительно, трудно не заметить, как за три года отечественными заводами было поставлено 41 судно этих проектов, еще 8 находятся в постройке.

Такие темпы и такая массовая серия были характерны для лучших периодов советского судостроения и это, конечно, очень достойное сравнение для сегодняшних российских верфей [21].

Британское Королевское общество корабельных инженеров RINA в число лучших судов года в мире дважды включало проект RST27 (Significant Ships of 2012 и Significant Ships of 2013), что само по себе случается очень редко, а в 2014 году и проект RST54 (Significant Ships of 2014). Были спущены Окской судовой верфью 8 июня 2016 года, а заводом «Красное Сормово» 19 августа 2016 года очередные танкеры проекта RST27.

Однако не только увеличенный коэффициент полноты является особенностью этого нового поколения танкеров и сухогрузов, но и ряд других принципиально важных характеристик, также полученных Морским Инженерным Бюро в той или иной форме в научных исследованиях 2001-2015 годов и использованных в новых концептах: обоснование главных размерений, выбора формы носовой и кормовой оконечностей, количества и типа движителей, способов формирования конструкции, особенностей архитектуры, снижения надводного габарита, нестандартного объединения функций судов, расширения типов предполагаемых к перевозке грузов и т.п.

Именно системный характер концептуального проектирования позволил дать такой заметный практический выход.

**Целью** статьи является обобщение главных и определяющих результатов научных исследований в приложении к строящимся и предполагаемым к постройке судам смешанного и речного плавания для внутренних водных путей и прибрежных морей.

Полученные в эти годы теоретические результаты [1; 2; 3; 8-11; 17; 18; 22] позволили Морскому Инженерному Бюро в 2011 году предложить экспертной группе международной транспортной группы UCL Holding, работавшей под руководством Ришата Багаутдинова, концепт танкера смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса проекта RST27 типа «ВФ танкер» со «сверхполными» обводами с **коэффициентом общей полноты 0,932**. Такой танкер, сохраняя по району плавания класс R2 и возможность круглогодичной эксплуатации как у танкера типа «Армада», получил существенно увеличенную грузоподъемность в реке – дедвейт при осадке 3,60 м – 5420 тонн (против 4700 тонн у проекта RST22), что сделало его уникальным речным судном при таком же дедвейте в море 7000 тонн, как у универсальных танкеров проектов RST22, RST22M более раннего поколения.

Таким образом, произошло редкое событие в современном отечественном гражданском судостроении, когда научный результат был получен самостоятельно и до появления конкретного заказа на постройку, а затем вполне успешно был реализован в виде большой серии судов.

Но в действительности это был вовсе не один шаг и не гениальное одномоментное предвидение, а вполне классическое научное исследование, с получением промежуточных выводов на каждом этапе НИР.

**А. Принцип максимального использования фактических путевых условий (максимально возможные длина, ширина судна).**

Исследованиями, проведенными Бюро, было доказано, что реальный выбор основных элементов судна смешанного река-море и внутреннего плавания **определялся путевыми условиями**, а также стратегией будущего судовладельца, его позицией на рынке, приверженностью к тем или иным направлениям перевозок и типам грузов. При этом для танкеров, как правило, оптимальными являлись решения, обеспечивающие в заданных условиях **максимальную** грузоподъемность. У сухогрузных судов применялся также выбор размерений по принятой партионности (3000 тонн, 5000 тонн) на заданную осадку.

Анализ подобных альтернатив позволил выстроить параметрический ряд ССП, объективно востребованных отечественными судовладельцами, и на его основе разработать в Морском Инженерном Бюро проекты новых судов – концептов XXI века [5-8; 12-16; 19; 24].

В состав данной сетки проектов вошли востребованные на современном российском рынке следующие основные классы судов смешанного и внутреннего плавания (причем, как самоходных, так и составных – барже-буксирных составов):

- «Волго-Балт макс» – класс, габаритные размеры которого определяются путевыми условиями Волго-Балтийского водного пути (ВБВП), в основном радиусами поворота и размерами рабочих камер шлюзов ВБВП, и имеет максимально возможную для характеристической в реке осадки 3,60 м грузоподъемность 5000-6000 т. Габариты и повышенная управляемость за счет полноповоротных винто-рулевых колонок и подруливающих устройств позволяют работать по Волге, вплоть до Астрахани.

- «Волго-Дон макс»/ «Днепро макс» – класс, который определяется габаритными размерами шлюзов ВДСК и имеет максимально возможную для характеристической в реке осадки 3,60 м грузоподъемность 4200-5500 т (нижнее значение относится к классам РС R1 и ББС, верхнее – к классам РРР «М-ПР 2,5»). Судно «Волго-Дон макс» класса может эксплуатироваться на линиях судов «Волго-Балт макс» класса. В силу близких размеров шлюзов суда «Волго-Дон макс» класса и «Днепро макс» класса имеют одинаковые главные характеристики.

- «ББК макс» – класс, размеры которого определяются путевыми условиями Беломорско-Балтийского канала (ББК) и имеет максимально возможную для характеристической в реке осадки 3,60 м грузоподъемность 2700-3000 т. Предполагает эксплуатацию на линиях, соединяющих речные порты и порт Беломорск через Беломорско-Балтийский канал, с возможностью выхода в Белое море. Судно «ББК макс» класса может эксплуатироваться на линиях судов «Волго-Балт макс» и «Волго-Дон макс» классов.

- «Лена» – класс, габаритные размеры которого определяются путевыми условиями реки Лена, а также путевыми условиями от возможного завода-строителя до выхода в море (например, от волжских верфей через ВБВП).

**Самый востребованный класс судов водного транспорта (70 % значимых грузовых судов, построенных в XXI веке) – суда «Волго-Дон макс» класса.**

**Б. Сколько должно быть винтов на судне «Волго-Дон макс» класса?**

Как известно, значительная часть судов внутреннего плавания и все суда смешанного река-море плавания (ССП), построенные в советское время, имели двухвальные установки. При этом практически все рейнские речные суда и европейские транспортные суда прибрежного плавания имеют один винт.

Соответственно, вопрос о том, какой пропульсивный комплекс (ПК) устанавливать на отечественных ССП нового поколения, был дискуссионным. Соответственно, потребовал научно обоснованного решения.

Главным преимуществом ПК с одним винтом является относительно меньшая стоимость судовой энергетической установки (СЭУ) как закупочная и монтажная при строительстве, так и с точки зрения эксплуатационных расходов по обслуживанию. Двухвинтовой ПК обеспечивает требуемую для стесненных условий реки маневренность, более надежен.

В качестве объекта исследования были выбраны обводы «Волго-Дон макс» класса судна нового поколения, разработанные Морским Инженерным Бюро. При этом было обращено внимание на отношение длины к ширине концептов, превышающее 8,3; необходимость эксплуатации судна в широком диапазоне осадок (от 2,8 м до 4,6 м), соответственно отношение ширины к осадке меняется от 3,5 до 5,9, причем в реке расчетная осадка соответствует отношению  $B_{WL}/T = 4,5$  и, наконец, коэффициент общей полноты около 0,90 [16; 25].

При таких ограничениях и соотношениях главных размерений значительно уменьшается предельно допустимое гидравлическое сечение судовых движителей, ухудшаются условия подтекания воды к винтам, остро стоит вопрос об эксплуатационной надежности пропульсивного комплекса, поэтому классических рекомендаций было явно недостаточно.

Рассматривались следующие варианты ПК:

**Вариант 1.** Двухвальная установка, состоящая из двух среднеоборотных дизелей (СОД) и реверс-редукторов с работой на открытые винты фиксированного шага (ВФШ). Электростанция комплектуется из трех дизель-генераторов (ДГ), каждый из которых обеспечивает ходовой режим.

**Вариант 2.** Двухвальная установка, аналогичная варианту 1, с двумя ВФШ в направляющих насадках.



**Вариант 3.** Одновальная установка с открытым винтом регулируемого шага (ВРШ). Электростанция комплектуется из двух ДГ и валогенератора (ВГ). ВГ предусматривается только как источник электроэнергии.

**Вариант 4.** Одновальная установка, аналогичная 3, с ВРШ в направляющей насадке.

По результатам проработки для вышеперечисленных вариантов были определены расчетные мощности ГД при заданных скоростях и суточные расходы топлива (тяжелого и дизельного) на ходу в полном грузу в морских условиях.

Сопоставление результатов эксперимента и численного расчета методами вычислительной гидромеханики с результатами расчета полного сопротивления судна методом Холтропа-Меннена, который получил большое распространение в практике проектирования, представлены на рисунке 1.

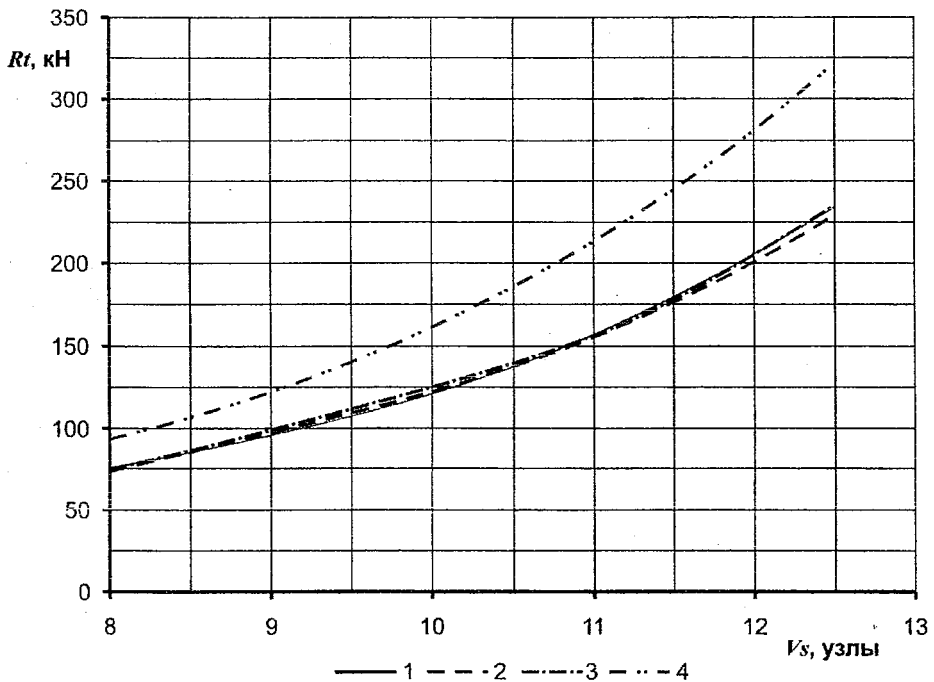


Рис. 1. Сопоставление полного сопротивления судна «Волго-Дон макс» класса:

1 – модельный эксперимент; 2, 3 – расчет численными методами гидродинамики; 4 – расчет методом Холтропа-Меннена

Статистический метод, несмотря на тщательно подготовленные данные о геометрических характеристиках корпуса, не обеспечил получение полного сопротивления судна с достаточной точностью. Использование же численного моделирования, напротив, обеспечило получение результатов, весьма близких к результатам модельных испытаний.

Для наглядного отображения сравнительной топливной эффективности всех вариантов ПК основные результаты расчетов – пропульсивная мощность  $N_E$  (т.е. расходуемая на движение) и сумма денежных издержек на топливо  $C$  за сутки ходового времени приведены в таблице 1.

Таблица 1

*Показатели топливной эффективности при  $V_S = 11$  уз.*

Номер п/п	Характеристика	Вариант 1 (2 ВФШ)	Вариант 2 (2 ВФШ в НН)	Вариант 3 (1 ВРШ)	Вариант 4 (1 ВРШ в НН)
1	Эффективная мощность $N_E$ , кВт	$2 \times 792 = 1584$	$2 \times 739 = 1478$	1793	1735
2	Относительная эффективная мощность $\overline{N_E}$ , %	107,2	100,0	121,3	117,4
3	Затраты на топливо в течение суток ходового времени $C$ , USD/сут.	3154	2964	3224	3119
4	Относительные затраты на топливо в течение суток ходового времени $\overline{C}$ , %	106,4	100,0	108,8	105,2

Также следует отметить, что варианты с винтами в направляющих насадках **Б** и **Г** показали значительное превосходство над, соответственно, вариантами **А** и **В** с открытыми винтами. Это объясняется особенностями работы тяжело нагруженных гребных винтов на судах рассматриваемого типа. Совокупное применение ВРШ в направляющей насадке и ВГ позволяет **варианту Г** по топливной эффективности занимать 2-е место.

В целом, учитывая уровень точности расчетов на настоящем этапе, можно считать, что **варианты Г** и **А** по топливной эффективности равноценны.

Качественный анализ результатов выполненной проработки свидетельствует о том, что наибольшее влияние на топливную эффективность проектируемого судна оказывает тип движителя, а в рамках одного

типа – площадь живого сечения  $A_0 = \pi D_p^2 / 4$ , от которой зависит степень нагрузки. Так, величина  $A_0$  при переходе от двухвального **варианта Б** к одновальному **варианту Г** уменьшается от 9,81 м<sup>2</sup> до 6,60 м<sup>2</sup> (на 32,7 %), при этом пропульсивная мощность при 11 узлах возрастает с 1478 кВт до 1735 кВт (на 17,4 %).

По этой причине для повышения топливной эффективности рекомендуется применять винты в насадках, а также выполнить проектные работы, направленные на увеличение диаметра гребного винта, независимо от того, какой вариант пропульсивного комплекса будет выбран. Однако для судна данного типа основная сложность установки винтов повышенного диаметра связана с необходимостью исключить подсос воздуха при ходе в балласте.

Итак, для «Волго-Дон макс» класса оптимальным с позиций топливной эффективности является **вариант двухвального пропульсивного комплекса с гребными винтами фиксированного шага в направляющих насадках (например, винто-рулевые колонки)**.

**В. Какая форма носовой оконечности должна применяться на судне «Волго-Дон макс» класса?**

Как следует из предыдущих рассуждений, для судна «Волго-Дон макс» класса оптимальной является кормовая часть санной формы, приспособленная к двум винто-рулевым колонкам (ВРК) в качестве единого средства движения и управления (или к двум винтам фиксированного шага в насадках с двумя рулями).

Соответственно, следующим вопросом при отработанной форме кормы был вопрос о выборе формы носовой оконечности.

В исследованиях [16; 23] были рассмотрены три варианта теоретического корпуса судна смешанного река-море плавания:

Вариант № 1 – носовые обводы с наклонным форштевнем – привычный классический вариант для отечественных судов смешанного и внутреничного плавания;

Вариант № 2 – бульбообразные носовые обводы;

Вариант № 3 – цилиндрические носовые обводы.

На рисунке 2 представлены результаты расчетов потребной мощности на винте  $N_p$  и располагаемая мощность 1020 кВт для всех вариантов корпуса. Как видно из рисунка, наибольшую скорость хода судна при заданной располагаемой мощности обеспечивает вариант корпуса № 2. Вместе с тем, в границах исследуемого диапазона 9-12 узлов наименьшие затраты мощности требуются для варианта № 3, что обеспечивает лучшие экономические показатели в эксплуатации.

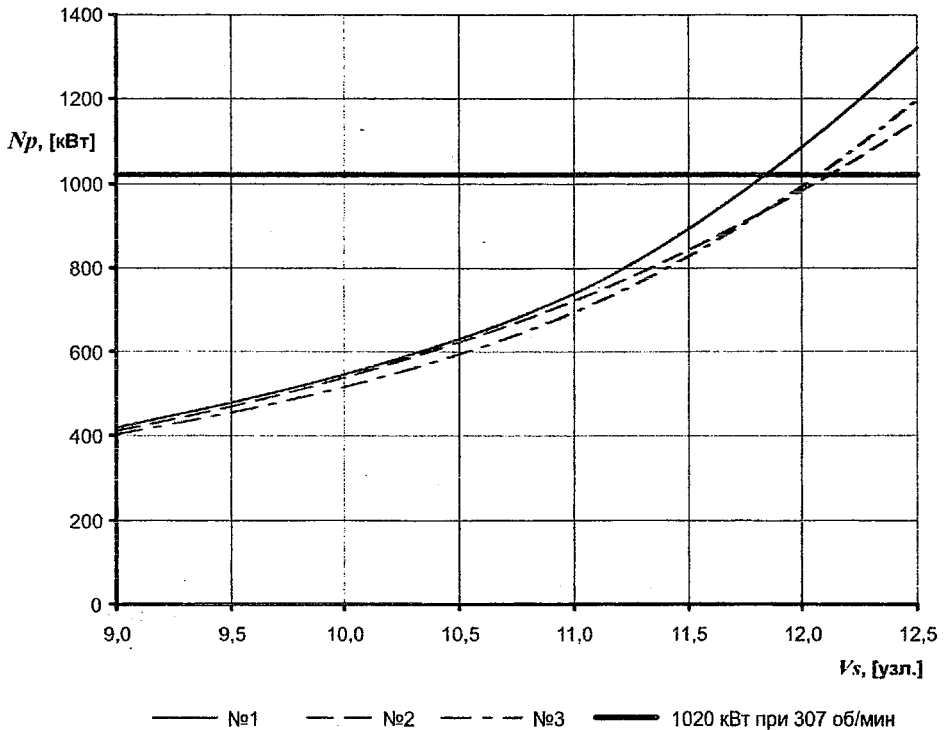


Рис. 2. Потребная и располагаемая мощность в зависимости от скорости

Согласно полученным результатам численных расчетов буксировочного сопротивления, вариант корпуса № 1 с наклонным форштевнем имеет в исследованном диапазоне скоростей наибольшее сопротивление, вариант № 3 с цилиндрическими обводами носа – наименьшее. Вариант корпуса № 2 с бульбообразными носовыми обводами занимает в пределах диапазона промежуточное положение, кривая его сопротивления у нижней границы диапазона ближе к варианту № 1, у верхней – смещается к кривой варианта № 3 и при скорости около 12 узлов пересекает ее. При скоростях свыше 11,8 узлов вариант корпуса № 2 имеет наименьшее буксировочное сопротивление. Ходовые качества судна в полной мере отражают приведенную картину по буксировочному сопротивлению.

Так как эти результаты получены для судна смешанного река-море плавания с характерными соотношениями главных размерений, в них отражены особенности этого типа судов и условия применения на них носовых обводов трех рассмотренных вариантов.

Итак, исследования с помощью методов вычислительной гидромеханики оптимальной формы носовых обводов для судна «Волго-Дон макс» класса нового поколения (с коэффициентом общей полноты около 0,90 и кормой в форме «саней») позволили сделать следующие выводы:

1. В заданном диапазоне скоростей хода 9-12 узлов корпус с цилиндрическими носовыми обводами имеет лучшие показатели по критерию транспортной работы судна на единицу мощности, т.е. по экономическим показателям.

2. Наибольшую скорость полного хода 12,11 узла при заданной мощности (две ВРК мощностью на гребных валах по  $1200 \cdot 0,85 = 1020$  кВт) обеспечивает корпус с бульбообразными носовыми обводами. Скорость полного хода судна с цилиндрическими носовыми обводами составляет 12,07 узлов, с наклонным форштевнем – 11,85 узлов.

#### Г. Максимально возможная «полнота» обводов судов.

Чем больше водоизмещение судна, тем больше его дедвейт – это как раз понятно всем, но при этом судно должно двигаться с приемлемой скоростью и с нормальным (вписывающимся в экономику) расходом топлива, иметь достаточные мореходные свойства (суда река-море плавания, причем с возможностью работы в Черном, Каспийском, Балтийском, Средиземном морях) и достаточную ледопроемкость (ледовая проводка в Ростов-на-Дону, Астрахань, Санкт-Петербург).

Как известно, наиболее востребованными в России в настоящее время судами смешанного плавания являются грузовые суда «Волго-Дон макс» класса. ССП этого класса, построенные до XXI века, имеют корпуса с коэффициентом общей полноты  $C_B = 0,84-0,85$ , относительной длиной цилиндрической вставки  $\ell_{РМВ}$  до 0,60, носовой оконечностью в виде «острой ложки» и кормовой в виде «килеватой ложки». Исследование обводов относительно полных судов проводилось неоднократно, но количественные решения завершались корпусами с  $C_B$  до 0,88 (!!!!).

Однако обводы корпусов нового поколения таких судов (проекты Морского Инженерного Бюро 005RST01, 006RSD02, 006RSD05, 007RSD07, RSD19, RSD49, RST22, RST22M, строительство которых началось в первом десятилетии XXI века) уже отличались более полными обводами ( $C_B = 0,88-0,90$ ), более протяженной цилиндрической вставкой ( $\ell_{РМВ} = 0,68-0,70$ ), что позволило, несмотря на увеличение толщин и рост массы металлического корпуса, обеспечивать дедвейт в реке при осадке 3,60 м около 4700-5000 тонн.

Ранее создание таких полных судов представлялось бы полным абсурдом и отвергалось, как противоречащее теории и, особенно, результатам модельных испытаний, ориентированных на соотношения главных размерений, принятых у морских судов.

Однако эффективная эксплуатация с 2001 года более 60 судов (проекты Морского Инженерного Бюро и ВКПБ) с такими характеристиками полностью подтвердила принятые принципиальные решения. Иных судов «Волго-Дон макс» класса отечественные судовладельцы в итоге просто не заказывали, да это и правильно, так как они бы гарантированно

проиграли по экономике успешно работающим «Армадам», «Гейдарам» и «Новгородам».

**Поэтому и возник вполне закономерный вопрос – а какой предел увеличения коэффициента общей полноты для судна смешанного река-море плавания?**

Для этого был специально разработан теоретический корпус судна с рекордным коэффициентом общей полноты 0,932 [11; 22]. Применена бульбообразная форма носовой оконечности, кормовая оконечность – транцевая, с полутоннелями и скегом. На начальном этапе моделирование буксировочных испытаний выполнялось путем решения уравнений Рейнольдса конечно-объемным методом в расчетной области, внутрь которой помещена 3D модель корпуса судна. Уравнения движения жидкости замкнуты при помощи статистической  $k-\varepsilon$  модели турбулентности для случая несжимаемой жидкости. Расчеты выполнялись в масштабе натуре с намерением избежать влияния масштабных эффектов и процедур пересчета с модели на натуре.

Следует обратить внимание, что на интересующих нас скоростях около 10 узлов, основную роль играет трение и сопротивление формы. Волновое сопротивление при этом незначительно, но уже после 10 узлов роль этой составляющей резко вырастает. Результаты проверочных буксировочных испытаний в двух независимых друг от друга бассейнах показали, что величины коэффициента остаточного сопротивления при осадке судна в грузу и в балласте практически совпадают до значения числа Фруда  $\sim 0,13$ .

Но конечно главным результатом является необходимая для движения судна с заданной реальной скоростью удельная эффективная мощность (на  $1 \text{ м}^3$  объемного водоизмещения) – т.е. те энергозатраты, которые приходится на 1 единицу груза.

На рисунке 3 дано такое сравнение удельной эффективной мощности от скорости для «сверхполного» судна, имеющего рекордный коэффициент общей полноты  $C_B = 0,932$  (проект RST27) с судном-прототипом с  $C_B = 0,88$  (проект RST25).

Итак, в грузу величина буксировочной мощности «сверхполного» судна отличается всего лишь на  $\sim 4\%$  от таких данных судна с коэффициентом полноты около 0,90. В балласте буксировочная мощность  $P_E$  танкера с большой полнотой обводов выше, чем у танкера с нормальной полнотой и при проектной скорости  $V_S = 10,5$  узлов разница составляет  $\sim 80$  кВт (около 13 %).

Таким образом, теоретически было доказано, что для типичных для судна смешанного река-море плавания скоростях 10 узлов влияние коэффициента полноты (для диапазона 0,88-0,93) незначительно.

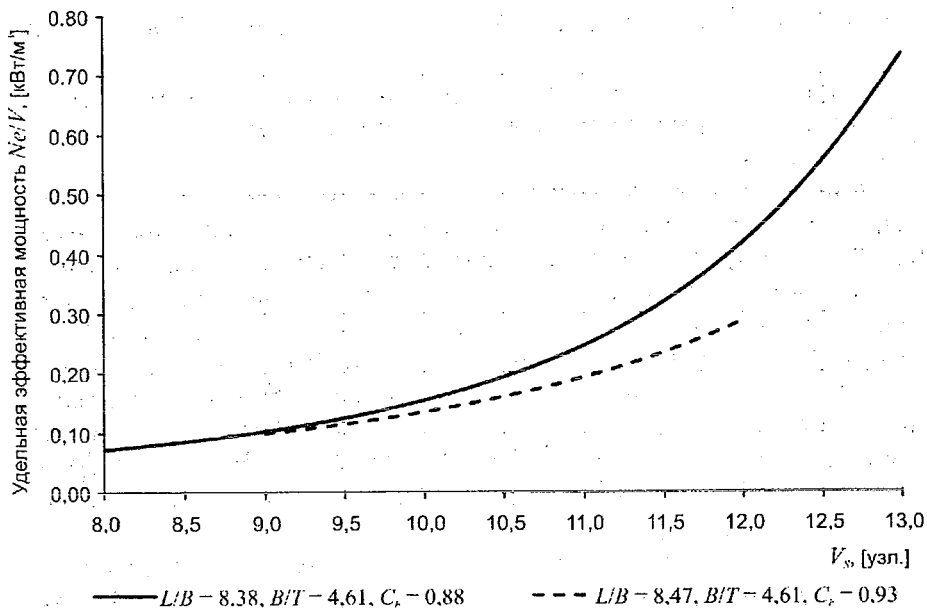


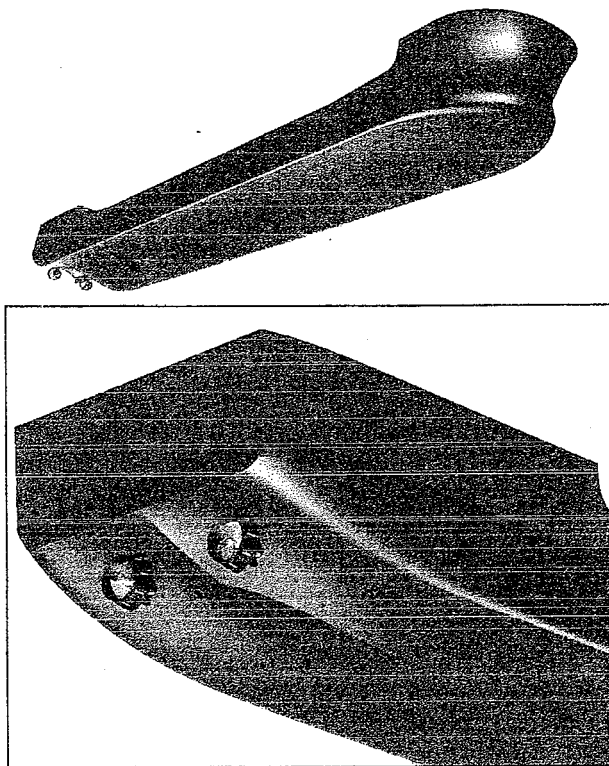
Рис. 3. Залежність удельної ефективної потужності  
от швидкості для судів з різною повнотою обводів

Вывод был принципиально важен и означал, что можно увеличивать коэффициент общей полноты для судов смешанного река-море плавания до 0,932. Это и позволило дать «старт» для проекта RST27 – судна «Волго-Дон макс» класса со «сверхполными» обводами, с бульбообразной носовой оконечностью и с двумя винтами фиксированного шага в насадках (полнопоротные ВРК в полутоннелях) – см. трехмерное изображение обводов судна этого проекта на рисунке 4.

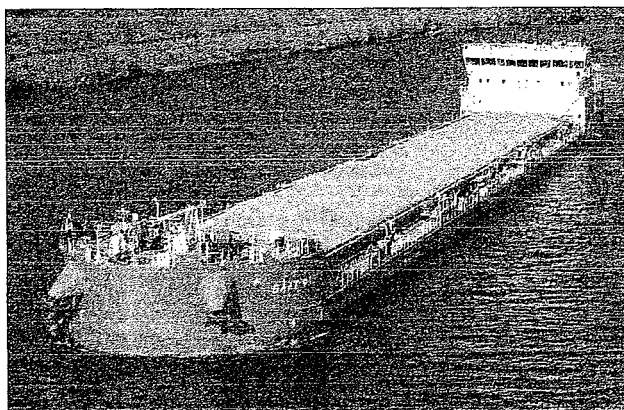
#### Д. Другие решения, определившие коммерческую привлекательность нового поколения судов смешанного плавания.

Перечень других определяющих результатов НИР по ФЦП РГМТ в приложении к строящимся и предполагаемым к постройке судам смешанного и внутреннего плавания для российских внутренних водных путей и прибрежных морей [1; 4; 7; 9-16; 19; 20]:

- расширения спектра перевозимых грузов – проектные негабаритные и тяжеловесные грузы, химия, сочетание сухих и наливных грузов на одном судне (например, в одну сторону – нефтепродукты, в другую – щебень – см. рисунок 5);



*Рис. 4. Трехмерное изображение «сверхполных» обводов судна «Волго-Дон макс» класса*



*Рис. 5. Перевозка щебня на комбинированном судне проекта RST54.  
Автор фотографии: Александр Конов*

- в соответствии с предполагаемыми направлениями перевозок и оценкой возможных потерь от простоев в ожидании погоды выбран класс РС R2 для судов и барже-буксирных составов смешанного река-море пла-



вания «Волго-Дон макс» класса (для обеспечения постоянной эксплуатации в море, в том числе вокруг Европы), класс PPP «О-ПР 2.0» для судов и барже-буксирных составов «Волгомакс» класса (минимальный класс для эксплуатации в весеннее-летний сезон в Финском заливе и Азовском море), класс PPP М-СП 3.5 для судов северных парокходств (позволяет эксплуатировать суда в условиях морского перехода по Северному морскому пути от полуострова Таймыр до полуострова Чукотка в июле – сентябре), для танкеров море-река типа новых концептов – стандарт прочности, соответствующий требованиям более высокого класса R1 в эксплуатации, что позволит работать в зимний сезон на перевозках растительных масел и «легкой» химии, например, в Индийском океане и вдоль побережья Африки;

- в соответствии с накопленным опытом работы выбран класс Ice1 (Лед 20-Лед 30) у судов смешанного плавания, предназначенных для работы в Азовском и Каспийском морях зимой, класс Ice2 (Лед 40) – у судов сибирских парокходств для обеспечения безопасного возврата судна после осуществления «северного» завоза на базу, Ice2 – для работы в Балтийском море зимой, Ice3 – для работы на порт Архангельск зимой;

- за счет роста эффективной высоты сечения (применение развитых непрерывных надпалубных конструкций – тронка и комингсов высотой 3,2-3,8 м) увеличена грузовместимость и снижены расходы в отечественных портах при обеспечении достаточной для выбранного класса общей продольной прочности без увеличения толщин подавляющего большинства конструкций в сравнении с минимальными толщинами по Правилам РС;

- применение продольной системы набора палубы, бортов и днища в средней части, что в сочетании с увеличением поперечной шпации и одновременном уменьшении шпации продольного набора обеспечивает более полное участие пластин корпуса в общем изгибе и лучшее восприятие локальных нагрузок при швартовках, прохождении каналов и шлюзов, сохранение приемлемого внешнего вида;

- сохранение толщин настилов и обшивок на уровне минимальных с целью минимизации массы металлического корпуса, решения задач обеспечения местной прочности и устойчивости за счет рационального сочетания элементов основного и рамного набора;

- назначение одинаковых, по возможности, толщин обшивки, стенок рамного и холостого набора для обеспечения равной долговечности по износу;

- проектирование конструкции борта, днища на восприятие эксплуатационных нагрузок, большинство которых считаются до сих пор «непроектными» (контакты с гидросооружениями, грунтом и т.п.);

- с целью увеличения фактической усталостной долговечности проектирование «гладких» конструкций поясков эквивалентного бруса с минимальным количеством технологических вырезов, приварышей и т. п.,

использование рационально исполненных узлов пересечения связей и плавного изменения площадей продольных связей корпуса по длине;

- исключение для танкеров внутреннего набора в грузовых танках (наружный набор верхней палубы и тронка, поперечные переборки с горизонтальными гофрами);

- за счет применения ВРК обеспечить требуемую управляемость и ходкость, увеличить длину грузовой зоны, уменьшить примерно на 20 % размеры МО, сократить затраты на монтаж и предполагаемые затраты на ремонт и обслуживание;

- за счет рационального распределения балластных и сухих отсеков в двойных бортах и двойном дне получить положительное решение по требованиям Правила 25А МК МАРПОЛ 73/78 и убрать продольную переборку в ДП, снизив тем самым металлоемкость корпуса;

- применение составных судов, когда самоходные суда-толкачи толкают баржи-приставки.

**Е. Обоснование применения газа в качестве топлива на судне «Волго-Дон макс» класса.**

Следует отметить, что еще не все перспективные результаты исследований Морского Инженерного Бюро были реализованы на практике. Например, для танкеров проекта RST27 был разработан концепт проекта применения природного газа (ПГ) в качестве основного судового топлива [18].

В действительности, существует несколько способов решения проблемы соответствия требованиям конвенции МАРПОЛ по содержанию вредных газов, в том числе использование малосернистого дизельного топлива; использование тяжелого топлива (ТТ) при условии оборудования судов скрубберами – системами очистки выхлопных газов от окислов серы; использование в качестве топлива природного газа (ПГ).

Применение малосернистого дизельного топлива (ДТ) является неоправданным из-за его высокой цены по сравнению с ТТ и ПГ. Использование скрубберов на танкерах проекта RST27 является нецелесообразным, т.к. размещение скрубберов, предлагаемых к поставке различными фирмами (габариты агрегата порядка 5400 x 2700 x 1700), потребует кардинального изменения конструкции надстройки, шахты машинного отделения (МО) и расположения механизмов в МО. Кроме того, независимо от применяемого жидкого топлива, для удовлетворения норм по выбросам NOX Tier III, которые вступили в силу с 01.01.16, потребуется установка дополнительных систем очистки выхлопных газов от окислов азота.

**Поэтому применение ПГ в качестве основного судового топлива для танкеров проекта RST27 для решения проблемы соответствия требованиям по выбросам в атмосферу обладает принципиальными преимуществами:**

1. Позволяет полностью исключить выбросы серы, существенно сократить выбросы оксидов азота (на 85 %) и углерода (на 25 %), а также твердых частиц.

2. Уровень выбросов окислов азота (NOX), в случае применения природного газа, будет соответствовать требованиям МАРПОЛ Tier III без применения дополнительных систем очистки газов.

Наиболее важным фактором, определяющим возможность применения СПГ в качестве топлива на судах смешанного плавания, является обеспеченность снабжения судов газовым топливом в необходимом объеме.

Для обеспечения применения на танкере проекта RST27 ПГ в качестве топлива был осуществлен:

- выбор главных двигателей для работы на ПГ с сохранением концепции прямой передачи крутящего момента на винт;
- выбор и размещение вспомогательного оборудования, необходимого для работы главных двигателей на ПГ;
- проверка возможности применения ПГ для паровых котлов и дизель-генераторов;
- выбор способа хранения ПГ, выбор емкостей для хранения и их размещение на судне;
- обеспечение безопасной эксплуатации танкера при наличии ПГ на борту.

На основании результатов расчета потребной мощности в зависимости от скорости хода судна к установке в качестве главных двигателей на проект RST27 для работы на природном газе были рекомендованы двухтопливные среднеоборотные двигатели максимальной длительной мощностью 1056 кВт при частоте 1200 мин<sup>-1</sup>. Выбранные двигатели при нагрузке 85 % обеспечивают скорость хода судна ок. 10,7 уз. на чистой воде. Необходимое передаточное число для винта будет обеспечиваться редуктором ВРК.

Что касается использования ТГ на танкерах, оборудованных для использования ПГ, то нет никакого смысла демонтировать системы ТГ при переоборудовании уже построенных танкеров. В случае строительства новых судов, окончательное решение остается за Судовладельцами, и будет зависеть от предполагаемого района эксплуатации судов, а также от цен на жидкое и газообразное топливо.

Вспомогательное оборудование, которое необходимо предусмотреть в проекте для использования природного газа, следующее: блоки газовых клапанов, по одному блоку на каждый двигатель; емкости для хранения; блоки нагревателей и испарителей газа; специальные станции приема газа с каждого борта.

Система подачи основного жидкого топлива к двигателям остается такой же, как на разработанном проекте RST27. Для подачи пилотного топлива к двигателям предусматривается дополнительная система с отдельными насосами и трубопроводами. Подача газа к блокам газовых клапанов, а затем и к двигателям в районе машинного отделения осуществляется с помощью труб с двойными стенками.

При эксплуатации двухтопливных двигателей запуск и остановка производится на ДТ, при непродолжительных остановках двигателей допускается производить пуск и остановку на тяжелом топливе. Переход на газ выполняется при работающем двигателе. При этом следует учитывать, что если двигатель работает на ТТ, то вначале производится переход на ДТ, а затем на газ. Порядок перехода с газа на ТТ такой же – в начале переход на ДТ, потом на ТТ.

Из вспомогательного газового оборудования главных двигателей, перечисленного выше, только блоки газовых клапанов должны располагаться в закрытых помещениях. Криогенные емкости, блоки нагревателей и испарителей газа, станции приема газа могут быть размещены на открытой палубе танкера в грузовой зоне. Герметическая конструкция блоков газовых клапанов позволяет размещать блоки непосредственно в объеме МО и не требует дополнительных помещений. При этом необходимо предусмотреть автономные трубопроводы вентиляции на открытую палубу внутренних пространств блоков газовых клапанов.

Расположение оборудования в МО танкера проекта RST27 позволяет разместить блоки газовых клапанов и трубопроводы без переноса какого-либо оборудования.

По соображениям увеличения автономности плавания судна и уменьшения веса емкостей для хранения газа, для рассматриваемого случая предлагается способ хранения ПГ на борту танкера в сжиженном виде (СПГ).

Главная трудность при использовании СПГ на судах – сравнительно большое пространство, требуемое для криогенных емкостей. В сравнении с нефтяным топливом равное по энергетическому содержанию количество СПГ требует примерно в 1,9 раза большего объема. С учетом теплоизоляции емкости требуемый объем возрастает примерно в 2,3 раза. В случае установки емкостей для хранения СПГ внутри корпуса судна, требуемый объем может увеличиться в 4 раза. На танкерах эту проблему удастся решить размещением криогенных емкостей на грузовой палубе.

На основании предварительных расчетов расходов газа для работы механизмов энергетической установки определяются потребные объемы криогенных емкостей в зависимости от автономности плавания танкера (см. таблицу 2).

При предварительных расчетах были приняты следующие исходные данные: процент заполнения криогенных емкостей – 98 %; низшая теплота сгорания СПГ – 49620 кДж/кг; плотность СПГ – 422 м<sup>3</sup>/кг.

Главная трудность при выполнении расчетов расхода ПГ состоит в том, что на данный момент отсутствуют международные стандарты на судовое газовое топливо. Поэтому при эксплуатации судов на ПГ следует учитывать, что расход газа будет зависеть от низшей теплоты сгорания СПГ, которая зависит от месторождения ПГ, из которого производят сжижение газа.

Таблиця 2

Объем криогенных емкостей, м<sup>3</sup>,  
в зависимости от автономности плавания

Вариант совместной работы механизмов на газе	Автономность, сут.			
	5	10	15	20
Все механизмы	133,06	266,12	399,18	532,24
Только ГД	89,35	178,70	268,06	357,41
ГД + ДГ	100,73	201,45	302,18	402,90
ГД + котлы	121,69	243,37	365,06	486,74

Применительно к проекту RST27 рассмотрены два возможных варианта применяемых криогенных емкостей: криогенные емкости LNG-Pak, поставляемые фирмой WARTSILA, и контейнер-криогенные емкости.

Предварительная проработка размещения показала, что две криогенные емкости 308 вместимостью 277 м<sup>3</sup> СПГ каждая могут обеспечить 20 суток автономности плавания танкера проекта RST27 при условии работы главных двигателей, котлов и дизель-генераторов на ПГ.

Указанные криогенные емкости можно разместить в кормовой части грузовой зоны танкера (см. рисунок 6).

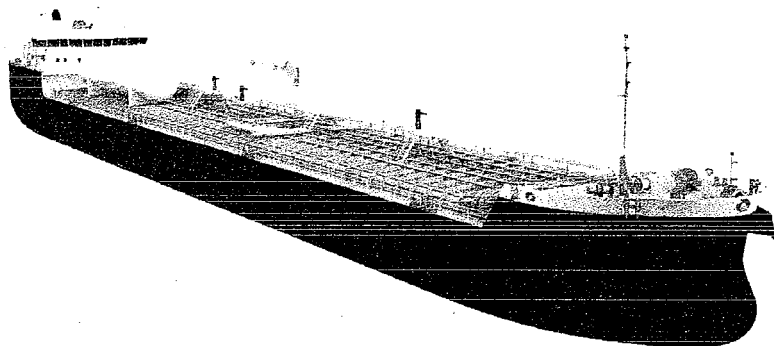


Рис. 6. Расположение криогенных емкостей для хранения газомоторного топлива на танкере «Волго-Дон макс» класса

Второй вариант – использование контейнер-криогенных емкостей позволит производить доставку СПГ на судно с помощью железнодорожного или автомобильного транспорта без выполнения бункеровочных операций классического типа. Потребуется лишь замена емкостей.

Одним из производителей в России контейнер-криогенных емкостей является ОАО «УРАЛКРИОМАШ», который предлагает контейнер-криогенную емкость модели КЦМ-35/0,6 в размерах стандартного 40-футового контейнера, который предназначен для приема, хранения, выдачи СПГ и может быть использован как тара для его транспортировки железнодорожным, морским, речным и автомобильным транспортом, обеспечивая полную сохранность продукта при различных погодных условиях.

Способ налива и слива СПГ – верхний, слив за счет создания давления в криогенной емкости сторонним наддувом.

При принятии решения об использовании контейнер-криогенных емкостей необходимо иметь в виду следующие обстоятельства: полезный объем контейнер-криогенных емкостей потребует значительного их количества, например, для обеспечения автономности 5 суток при работе на газе главных двигателей, котлов и дизель-генераторов необходимо 4 контейнера, 10 суток – 8 контейнеров; потребуется дополнительно предусмотреть на борту судна стационарные блоки испарителей и подогревателей газа с арматурой и трубопроводами, для контроля давления подачи газа к блокам газовых клапанов; для замены контейнеров в порту, должны быть предусмотрены соответствующие грузоподъемные средства.

Контейнер-криогенные емкости можно разместить в кормовой и носовой частях грузовой зоны танкера.

Таким образом, в ФЦП по РГМТ Морским Инженерным Бюро были получены следующие принципиально важные результаты по газомоторному топливу:

1. Применение ПГ в качестве основного судового топлива на судах смешанного плавания обладает принципиальными преимуществами по сравнению с использованием малосернистого ДТ или ТТ с скруббер-системами очистки выхлопных газов от окислов серы.

2. Использование отечественного технического опыта и возможностей криогенной техники позволит за короткий срок обеспечить широкое применение СПГ на судах. Создание береговой инфраструктуры заправки судов природным газом не потребует продолжительного времени и больших капитальных затрат. По оценкам специалистов, при наличии средств на проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию опытного комплекса может потребоваться не более полутора лет.

3. Что касается использования тяжелого топлива на танкерах, оборудованных для использования ПГ, то нет никакого смысла демонтировать системы тяжелого топлива при переоборудовании уже построенных танкеров. В случае строительства новых судов, окончательное решение остается за судовладельцами, и будет зависеть от предполагаемого района эксплуатации судов, а также от цен на жидкое и газообразное топливо.

**Опыт использования.** Проведенные ходовые испытания показали отличную маневренность судна и хорошие ходовые качества. Судно проекта RST27, имеющее рекордный коэффициент общей полноты 0,93,

показало на мерной линии скорость 11,7 уз. при мощности на валах 2100 кВт (0,875 от мощности главных двигателей) и осадках носом 3,2 м, кормой 3,3 м.

Обоснованно выбранная мощность главных двигателей и развитые надстройки бака и юта обеспечили мореходность в условиях волнения с высотой волны 3 % обеспеченности 7,0 м.

Результаты эксплуатации первых судов серии проекта RST27, построенных на нижегородском судостроительном заводе «Красное Сормово», навашинском заводе «Окская судовой верфь» и «Херсонском судостроительном заводе» полностью подтвердили принятые при разработке концепции новые решения.

При проектировании столь полных судов оставался открытым вопрос ледопроеходимости. Поэтому принципиально интересно мнение их капитанов после окончания ледовой кампании 2012-2013 годов:

- при плавании в балласте (с осадкой носом около 2,40 м), теплоход идет хорошо: медленно, но верно вскрывает лед, поднимая его кверху и ломая бульбом. Такая же картина наблюдается при плавании в грузу не на полную загрузку (осадка около 3,40 м);

- при плавании в полную загрузку картина несколько иная: лед не разламывается, а толкается перед собой, пока не треснет, что приводит к незначительному снижению ходовых качеств во льду;

- установка на данном проекте судов ВРК дает судну большие преимущества по сравнению с обычными судами: повредить лопасти льдом практически невозможно, т.к. винт находится в насадке; для движения назад не требуется работа винта «на задний ход», насадка просто поворачивается на 180 °, а винт как работал «на передний ход», так и работает, что также минимизирует вероятность повреждения лопастей винта; быть зажатым во льдах практически нереально, т.к. благодаря ВРК, можно в любой момент размыть пространство вокруг судна.

Что примечательно, при проводке каравана в Азовском море капитаны ледоколов предпочитали ставить суда проекта RST27 первым корпусом.

Уже в 2013 году были успешно проведены натурные мореходные испытания судна проекта RST27 под руководством Крыловского государственного научного центра, которые полностью подтвердили заявленные Морским Инженерным Бюро характеристики на волнении. На испытываемых режимах, при волнении, не превышающем 2 балла, напряжения общего изгиба судна в миделевой части от динамической составляющей волнового воздействия не превысили 5 МПа, что существенно ниже допустимых (при плавании в штормовых условиях наблюдается незначительная вибрация и изгиб корпуса, что характерно для всех судов внутреннего и смешанного река-море плавания). Максимальные амплитуды килевой качки на волнении 2 балла при режиме работы ВРК, соответствующем 770 об./мин., не превышали 0,4 °. Максимальные амплитуды бортовой качки достигали 0,3 ° на скоростях от 8,0 до 11,4 уз. Рыскание судна

в процессе измерений менялось в пределах  $\pm 1,5^\circ$ . При всех скоростях хода величины вертикальных ускорений малы, максимальные значения не превышают  $0,04 g$ . Максимальные зарегистрированные значения амплитуд поперечно-горизонтальных ускорений при скорости хода  $V = 11,4$  узла составляли  $0,03 g$ . При плавании в штормовых условиях наиболее неблагоприятным является встречное волнение, наблюдается падение скорости. Бортовое волнение практически не влияет на движение судна.

**Развитие идеи.** На уже строящихся сериях танкеров проекта RST27 происходит существенное расширение спектра перевозимых наливных грузов, к нефти и нефтепродуктам сначала были добавлены грузы, подпадающие под общее название «растительное масло» (а среди них и компоненты биотоплива, и знаменитое сейчас пальмовое масло и т.п.), а затем и другая «легкая» химия, впрочем, требующая выполнения нормативов по непотопляемости и оборудованию, а также по покрытиям танков к химвозу типа ИМО 2.

Специальный анализ показал, что суда этих концептов соответствуют вступающим в силу новым требованиям МАРПОЛ по энергоэффективности, что позволяет строить серии и в ближайшем будущем [17].

Исходя из обводов концепта RST27, были созданы другие проекты танкеров смешанного река-море плавания (см. таблицу 3 и рисунок 7), у которых варьировались районы плавания, типы грузов и осадка в море:

- проект с усиленной речной функцией и сохранением морских задач RST12 – уменьшена высота борта с  $6,0$  м до  $5,50$  м, оптимизирован класс судна по морскому району плавания R2-RSN(4.5) с допускаемой высотой волны  $4,5$  м (у RST27 – район R2 с допускаемой высотой волны  $7,0$  м), что позволило снизить металлоемкость и увеличить дедвейт в реке при осадке  $3,60$  м до  $5632$  тонн (RST27 –  $5428$  тонн);

- проект RST12C – развитие RST12 с увеличением грузоподъемности в Каспийском море – увеличена осадка в море до  $4,54$  м, дедвейт в море составил  $8009$  тонн (RST27 –  $7030$  тонн), объем грузовых танков –  $9190 m^3$  (RST27 –  $8274 m^3$ ), что позволило обеспечить фактическую грузоподъемность в море на типичных для Каспия плотностях грузов  $0,84-0,86 t/m^3$  при сохранении улучшенных характеристик в реке – дедвейт при осадке  $3,60$  м  $5580$  (RST27 –  $5428$  тонн);

- проект низкогабаритного речного танкера с возможностью выхода на рейдовые перевалочные комплексы RST35 – установлена подъемная рубка, уменьшена высота борта с  $6,0$  до  $5,0$  м, оптимизирован класс судна по району плавания класса Российского Речного Регистра М-ПР 2,5 с допускаемой высотой волны  $2,5$  м (у RST27 – морской район R2 с допускаемой высотой волны  $7,0$  м), что позволило заметно снизить металлоемкость и увеличить дедвейт в реке при осадке  $3,60$  м до  $5707$  тонн (RST27 –  $5428$  тонн), при этом применена подъемная рубка с габаритом под Ростовский железнодорожный мост;

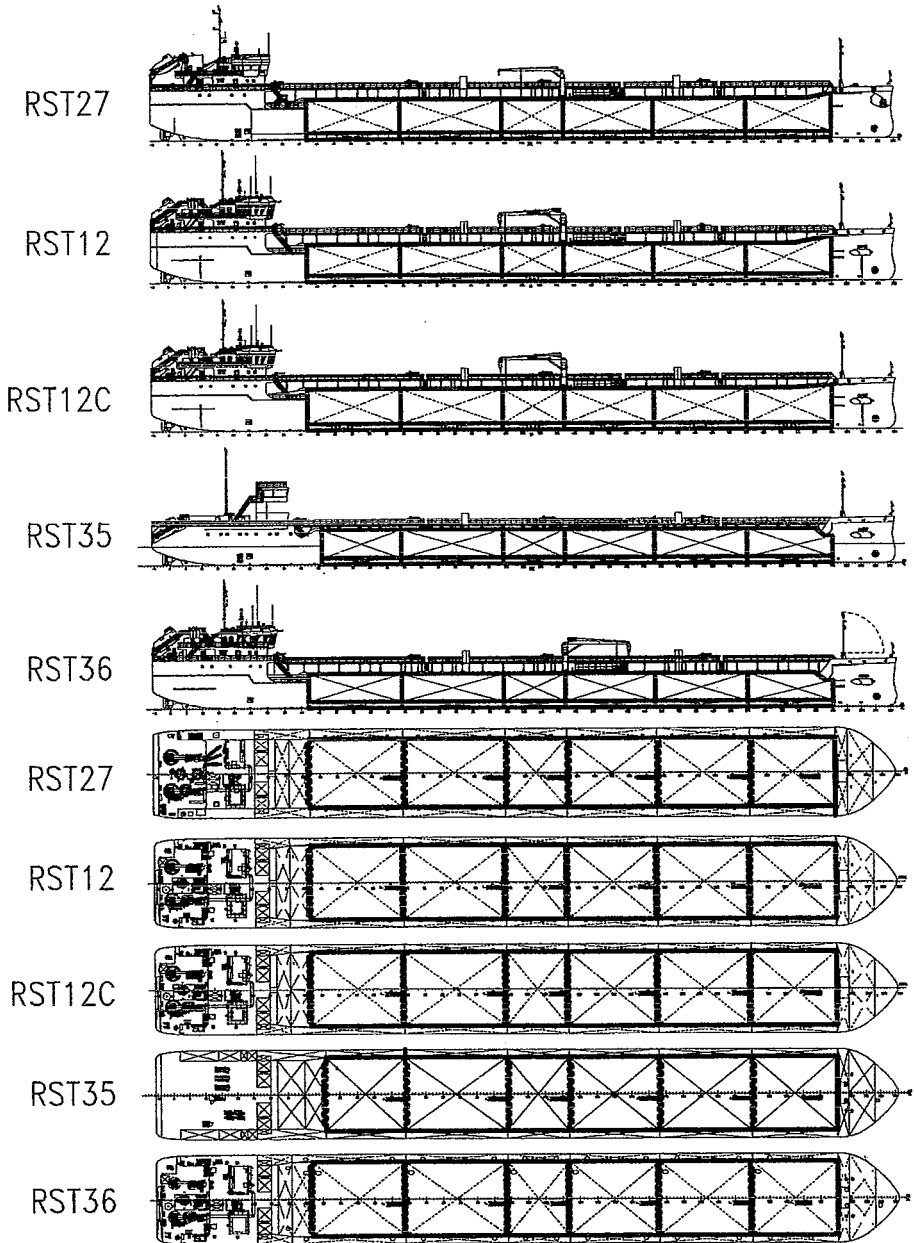


Таблица 3  
Основные характеристики «сверхолловых» танкеров смешанного река-море плавания

Данные	пр. RST27 (постройки Окской судоверфи)	RST12	RST12C	RST35	RST36
1	2	3	4	5	6
Основные характеристики					
Длина наибольшая, м	140,85	141,00	141,00	141,00	141,00
Длина между перпендикулярами $L$ , м	137,10	137,26	137,10	137,26	137,26
Ширина $B$ , м	16,7	16,9	16,9	16,9	16,9
Высота борта $H$ , м	6,0	5,5	6,0	5,0	5,0
Высота тронка $h_{тр}$ , м	1,45	1,50	1,50	1,50	1,50
Кубический модуль $LBH$ , м <sup>3</sup>	14113	13106	14297	11915	11915
Габаритная высота до верхней кромки несъемных частей от ОП, м	16,8	16,3	16,3	10,01	15,8
Осадка по ЛГВЛ $d_M$ в море / $d_P$ в реке, м	4,2/3,6	4,17/3,6	4,54/3,6	3,527/3,6	3,527/3,6
Дедвейт $Dwt$ , т					
при $d = 2,95$ м (река)	3945	4130	4079	4205	4165
при $d = 3,4$ м (река)	4971	5169	5118	5244	5204
при $d = 3,6$ м (река)	5428	5632	5580	5707	5667
при $d = 4,2$ м (море)	7030	-	-	-	-
при осадке $d_M$	7030	7183	8009	5728	5688
Автономность плавания в реке/ в море, сут.	12/20	12/20	12/20	15	15
Скорость при осадке $d_M$ , уз при % от МДМ	11,2 (85%)	≈10,2 (100%)	≈10,0 (100%)	≈11,0 (100%)	≈11,0 (100%)
Масса судна порожнем $\Delta_{пир}$ , т	2453	2354	2405	2279	2319

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6
Кубический модуль $L_{BH}'$ , м <sup>3</sup>	16113	15346	16537	14083	14154
Весовой показатель $\mu = \Delta \rho_{лор} / L_{BH}'$	0,152	0,153	0,145	0,162	0,164
Дальность плавания, мили	4000	4000	4000	3600	3600
Объем грузовых танков, м <sup>3</sup>	8274	8075	9190	7180	7370
Количество грузовых танков	6+2 отстойных	6+2 отстойных	6+2 отстойных	6+2 отстойных	6+2 отстойных
Объем балластных танков, м <sup>3</sup>	4650	4089	4375	3555	3615
Класс	KM $\star$ Ice 1 R2 AUT1-ICS OMBO VCS ECO-S OH tanker (ESP)	KM $\star$ Ice1 R2- RSN(4.5) AUT1- ICS VCS ECO-S OMBO OH tanker (ESP)	KM $\star$ Ice1 R2- RSN(4.5) AUT1- ICS VCS ECO-S OMBO OH tanker (ESP)	$\star$ M-IP 2.5 (лед 30) A	$\star$ M-IP 2.5 (лед 30) A
Допускаемая высота волны 3 % обеспеченности, м	7,0	4,5	4,5	2,5	2,5
Мощность и тип ГД	2x1200 кВт Wärtsila 6L20	2x1200 кВт Wärtsila 6L20	2x1200 кВт	2x1200 кВт	2x1200 кВт
Винто-рулевой комплекс	2 ВРК «Schottel» SRP-1012FP	2 ВРК «Schottel» SRP-1012FP	2 ВРК	2 ВРК	2 ВРК
Вспомогательная энергетическая установка					
Мощность ДГ, кВт	3x292	3x350	3x350	3x330	3x330
Мощность АД, кВт	136	150	150	136	136
Котельная установка					
Вспомогательные паровые котлы	2 x 2,5 т/ч	2 x 2,0 т/ч	2 x 2,5 т/ч	2 x 2,0 т/ч	2 x 2,0 т/ч
Утилизационные паровые котлы	2 x 0,3 т/ч	2 x 0,37 т/ч	2 x 0,37 т/ч	2 x 0,3 т/ч	2 x 0,37 т/ч
Тип основного топлива	HFO (380 сСт)	HFO (380 сСт)	HFO (380 сСт)	HFO (380 сСт)	HFO (380 сСт)
Экипаж / мест, чел.	12/14 + лоцман	11/14 + лоцман	11/14 + лоцман	14/15+лоцман	14/15 + лоцман



*Рис. 7. Сравнение видов «сверхполных» танкеров смешанного река-море плавания*

- проект «классического» речного танкера с возможностью выхода на рейдовые перевалочные комплексы RST36 – уменьшена высота борта с 6,0 до 5,0 м, оптимизирован класс судна по району плавания класса Российского Речного Регистра М-ПР 2,5 с допускаемой высотой волны 2,5 м

(у RST27 – морской район R2 с допускаемой высотой волны 7,0 м), что позволило заметно снизить металлоемкость и увеличить дедейт в реке при осадке 3,60 м до 5667 тонн (RST27 – 5428 тонн).

По сути, концепт RST27 явился научным базисом для новой тенденции развития отечественной воднотранспортной отрасли по «расширению» узких мест за счет новых технических решений.

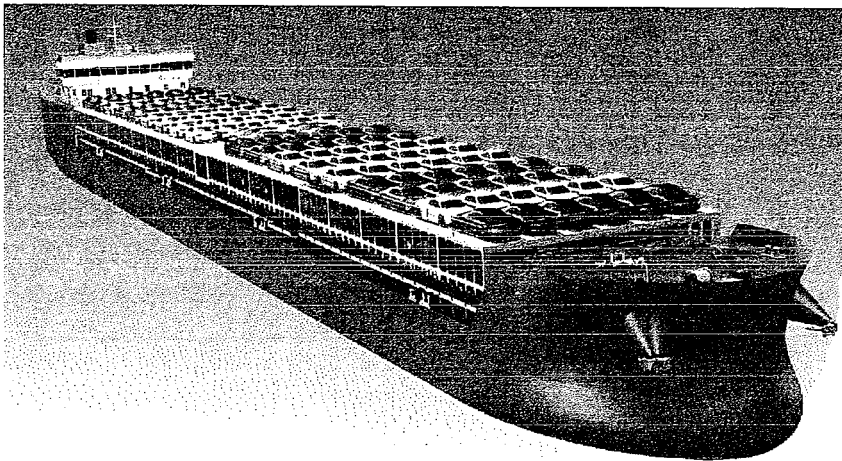
Другими словами, происходит увеличение провозоспособности за счет максимального использования фактических путевых условий (максимально возможные длина, ширина судна), а главное – за счет экстремально полных обводов, ранее не применявшихся в мировой практике.

Например, концепция комбинированных судов проекта RST54 (проект 2013 года), которые получили «сверхполные» обводы и «устьевой» класс М-ПР 2,5.

Комбинированные танкера-площадки:

- обеспечивают загрузку в обе стороны (нефтеналив – в одну и сухогрузы – в обратную);

- позволяют снизить нагрузку на автодороги за счет перевозки 270-350 легковых автомобилей, которые обычно из района Санкт-Петербурга в центральную Россию везут на грузовиках-автомобилевозах (см. рисунок 8);



*Рис. 8. Пример перевозки автомобилей на комбинированном судне проекта RST54*

- обеспечивают перевозку 120 контейнеров с массами до 36 тонн, которые недопустимы для транспортировки автопоездами по условиям максимальной нагрузки на ось, в том числе до 45 рефрижераторных контейнеров.

Перевозка нефтеналивных грузов с ограничением по температуре вспышки паров выше 60 °С осуществляется в десяти грузовых танках вместимостью 5446 м<sup>3</sup> и двух отстойных танков вместимостью 207 м<sup>3</sup>. Все танки отделены от наружной обшивки при помощи двойного дна и двойных бортов. Размеры двойных конструкций отвечают требованиям международной конвенции МАРПОЛ 73/78.

Для перевозки сухих грузов, не боящихся подмочки (металл, щебень, контейнеры и т.п.) предназначено грузовое пространство на главной палубе, имеющее ограждение высотой 2,0 м. Настил главной палубы внутри грузовой площадки рассчитан на интенсивность распределенной нагрузки 5,5 т/м<sup>2</sup>, а также на работу грейфером. В качестве основного груза предусмотрена перевозка 4700 т щебня на открытой палубе.

Перевозка контейнеров, установленных на настил главной палубы на сепарацию, осуществляется в два яруса. Предусматривается размещение тяжелых 120 TEU массой по 36 тонн, которые нельзя перевозить автопоездами. Электростанция судна позволяет также перевозить 45 рефрижераторных контейнеров.

Предусмотрена также возможность установки на судне специальных съемных кассет, образующих дополнительно две автомобильные палубы. Погрузка/выгрузка автомобилей осуществляется своим ходом при помощи береговых аппарелей. Количество перевозимых автомобилей зависит от их габаритных размеров (от 350 до 270 единиц).

Главные характеристики проектов RST54 и RST34 «сверхполных» комбинированных грузовых судов смешанного река-море плавания приведены в таблице 4 (виды см. на рисунке 9).

Концепт комбинированного судна «нефтерудовоза» проекта RST34 создавался для смешанных морских и море-река перевозок нефтепродуктов и наливных химических грузов в бортовых грузовых танках с двойным дном и двойными бортами, и сухих грузов, включая зерно – в двух центральных сухогрузных трюмах, закрываемых люковыми закрытиями. Столь сложное сочетание грузовых пространств привели к заметному росту массы судна порожнем, но за счет «сверхполных» обводов удалось реализовать принцип «5000 тонн груза» (наливного или сухого) на транзите через реку (при осадке 3,60 м)

Для этого помимо нового типа обводов применили более высокий класс по району плавания, чем на RST54, но более низкий, чем на RST27 – R2-RSN (4.5) с допускаемой высотой волны 4,5 м.

Таблица 4

Главные характеристики «сверхполных» комбинированных судов  
смешанного река-море плавания

Данные	пр. RST54	пр. RST34
1	2	3
Основные характеристики		
Длина наибольшая, м	140,85	141,00
Длина между перпендикулярами $L$ , м	140,66	137,14
Ширина $B$ , м	16,7	16,9
Высота борта $H$ , м	5,0	8,1
Кубический модуль $LBH$ , м <sup>3</sup>	11761	19301
Габаритная высота до верхней кромки несъемных частей от ОП, м	16,10	16,3
Осадка по ЛГВЛ $d_m$ в море / $d_p$ в реке, м	3,527 / 3,6	4,7 / 3,6
Дедвейт $Dwt$ , т		
при $d = 2,95$ м (река)	4262	3563
при $d = 3,4$ м (река)	5288	4602
при $d = 3,6$ м (река)	5745	5065
при $d = 4,2$ м (море)	-	6687
при осадке $d_m$	5771	7872
Автономность плавания в реке / в море, сут.	20	12/20
Скорость при осадке $d_m$ , узл. при % от МДМ	11,2 (85 %)	10,2 (100 %)
Масса судна порожнем $\Delta_{пор}$ , т	2136	2921
Кубический модуль $LBH'$ , м <sup>3</sup>	14466	21232
Весовой показатель $\mu = \Delta_{пор}/LBH'$	0,148	0,138
Дальность плавания, мили	3600	3600
Объем грузовых танков, м <sup>3</sup>	5653	6604
Количество грузовых танков	10+2 отстойных	8+1 отстойный
Объем балластных танков, м <sup>3</sup>	3435	4134
Вместимость грузовых трюмов, м <sup>3</sup>	2564 (грузовой бункер)	5916
Контейнеровместимость, TEU / FEU	120 / 45	140 / 70
Класс	✠ М-ПР 2,5 (лед 30) А	КМ Ice1 R2-RSN (4.5) AUT1-ICS OMBO VCS Oil / Chemical tanker type2 (ESP)
Допускаемая высота волны 3 % обеспеченности, м	2,5	4,5

Продолжение табл. 4

1	2	3
Мощность и тип ГД	2x1200 кВт Wärtsila 6L20	2x1200 кВт Wärtsila 6L20
Винто-рулевой комплекс	2 ВРК	2 ВРК
Вспомогательная энергетическая установка		
Мощность ДГ, кВт	3 x 296	3 x 296
Мощность АДГ, кВт	62	150
Котельная установка		
Вспомогательные паровые котлы	2 x 2,5 т/ч	2x2,0 т/ч
Утилизационные паровые котлы	2 x 0,3 т/ч	2 x 0,3 т/ч
Тип основного топлива	HFO (380 сСт)	HFO (380 сСт)
Экипаж/мест, чел.	12/14 + лоцман	12/14 + лоцман

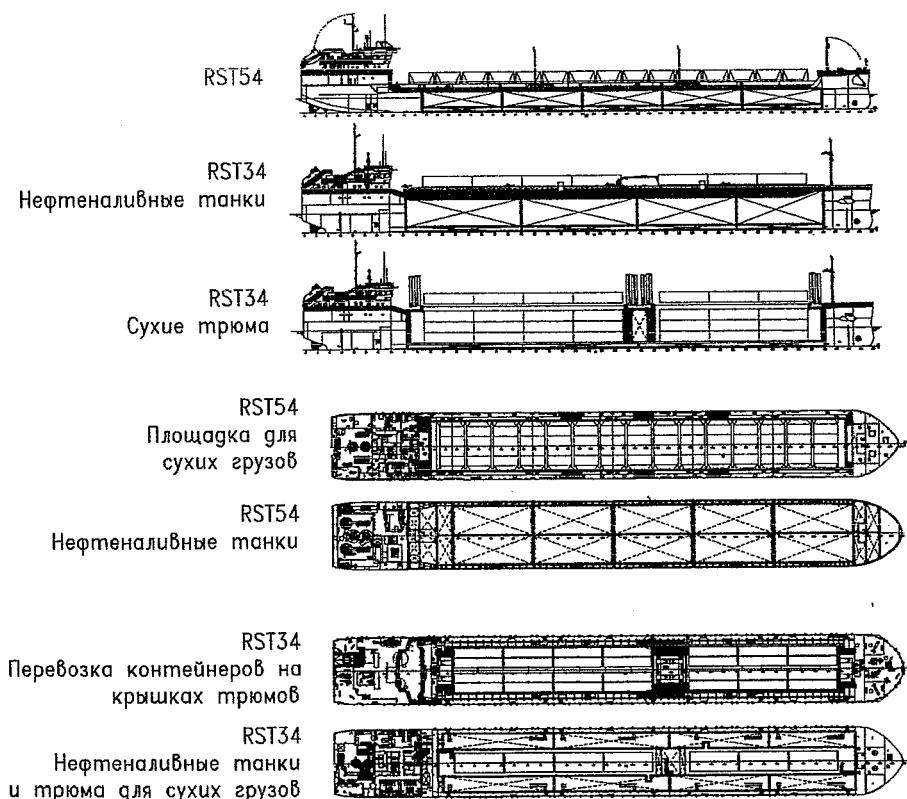


Рис. 9. Сравнение видов «сверхполных» комбинированных судов смешанного река-море плавания (RST54, RST34)

В 2014 году Бюро разработало в обводах RST27 новый концепт RSD62 многоцелевого сухогрузного судна река-море плавания для «северного завоза». Главная идея состояла в том, что оно будет лучше «Сибирских» по грузоподъемности, причем в широком диапазоне рабочих осадок от 2,50 до 3,50 м, будет отвечать максимальным габаритным ограничениям существующей судоремонтной базы на реке Лена и иметь достаточный для сезонной работы по Северном морскому пути класс Регистра по району плавания и хорошие (для того, чтобы вернуться на базу уже в условиях ледообразования и льда до 40 см толщиной) ледовые качества. С другой стороны, новые суда должны быть эффективными на тех перевозках в европейской части, где сейчас работают суда типа «Волго-Дон» (т.е. на линиях речные порты – рейдовые перевалочные комплексы Керчи и Финского залива).

В итоге получается некий симбиоз «Сибирского» и «Волго-Дона», размерами «Волго-Дон макс» класса, но с более высоким, чем у RSD44 классом по району плавания («М-СП 3,5» против «М-ПР 2,5») и ледовой категорией («Лед 40» против «Лед 20»). Понятно, что на сегодняшний день лучшими обводами такого класса судов являются т.н. «сверхполные» обводы, примененные на судах проектов RST27, RST54, RST12, RST28.

Новый концепт RSD62, в итоге, получил более эффективные технико-экономические характеристики, чем «Сибирские» проектов 292 и 0225, но при этом и лучше судов проектов 507Б, 1565 («Волго-Доны») и 05074 («Волжские»), обладая более высоким стандартом прочности, чем существующие суда.

Это позволит на начальном этапе, пока еще действующие суда типа «Сибирский» имеют удовлетворительное техническое состояние и могут обеспечивать «северный» завоз, новому проекту RSD62 работать в европейской части на линиях, привычных для судов «Волго-Дон макс» класса, обеспечивая тем самым окупаемость в существенно более привлекательные сроки.

По мере выбытия старого флота на севере, суда проекта RSD62 будут осуществлять переход в базовые парохозяйства и менять на «северном» завозе «Сибирские», обеспечивая тем самым безопасное плавание по морским участкам якутского побережья между устьями рек Колыма, Индигирка, Яна, Лена.

Средний возраст судов типа «Сибирский» составляет 29 лет. Поэтому суда проекта RSD62 успеют отработать в европейской части примерно по 10 лет, что обеспечит разумную экономику проекта и соответственно, если и потребуется увеличение роста тари-



фов на «северный» завоз, то не в столь значительной степени, как сейчас показывают экономические расчеты, выполненные без учета «европейской» эксплуатации.

Таким образом, требуется строительство нового грузового флота смешанного (река-море) плавания, полностью соответствующего специфике эксплуатации в Ленском бассейне, но с более привлекательной экономикой за счет частичной работы в европейской части.

Если не будет нового флота, то обеспечивать «северный» завоз по побережью Северного морского пути с заходом в устья арктических рек через 10 лет будет не чем – возраст «Сибирских» достигнет 40 лет, что, по нашим оценкам, является предельным возрастом для грузовых судов с точки зрения безопасности мореплавания и рентабельности всевозрастающих по объемам ремонтов.

В мае 2016 года был впервые представлен другой сухогрузный проект река-море плавания Морского Инженерного Бюро RSD59, который также был выполнен в «сверхполных» обводах с двумя сухогрузными трюмами, один из которых имеет рекордную для «Волго-Дон макса» длину. Преимущества RSD59 по сравнению с лучшим из строящихся для таких задач сухогрузов проекта RSD49:

- дедвейт при осадке 3,60 м 5209 тонн (у проекта RSD49 – 4507 тонн), что больше на 702 тонны;

- дедвейт при осадке 4,20 м 6831 тонна (у проекта RSD49 – 6021 тонна), что больше на 810 тонн;

- дедвейт при максимальной осадке 4,50 м 7542 тонны (у проекта RSD49 при максимальной осадке 4,70 м 7143 тонны), что больше на 399 тонн;

- наличие длинного трюма  $L = 77,35$  м (на судне проекта RSD49  $L = 52$  м), позволяющего перевозить крупногабаритные и тяжеловесные грузы;

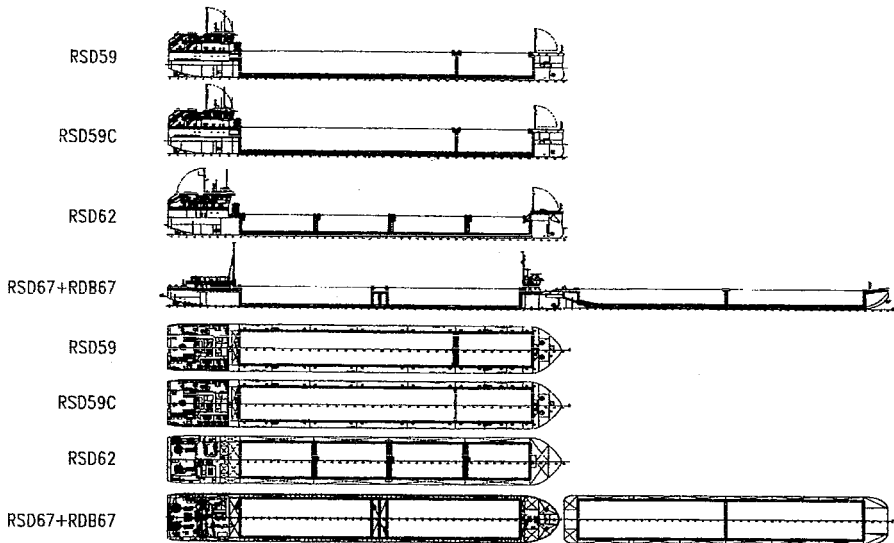
- высота трюма больше на 620 мм (9000 мм), чем на судне проекта RSD49, что позволяет перевозить контейнеры высотой до 9,6 футов – «high cube containers» (3 таких контейнера в высоту);

- установлены люковые закрытия съемного типа. Открытие и закрытие каждой секции осуществляется при помощи специального козлового крана, который по-походному располагается в районе носовой переборки жилой надстройки;

- движение и управляемость обеспечиваются двумя ВРК (лучше маневренность в узкостях, больше грузового пространства за счет уменьшения размеров МО).

Кроме того, были продемонстрированы составные «сверхполные» суда «Днепромаксы» проекта RSD67 с баржами – приставками RDB67 с суммарными дедвейтами при осадке 3,60 м в реке около 11000-12000 тонн.

Главные характеристики «сверхполных» сухогрузных судов смешанного река-море плавания приведены в таблице 5, виды – на рисунке 10.



*Рис.10. Сравнение видов «сверхполных» сухогрузных судов смешанного река-море плавания*

**Выводы.** Созданный как научный результат исследований концепт RST27 «сверхполного» судна смешанного река-море плавания оказал заметное влияние как на отечественное судостроение, так и на отечественный водный транспорт в целом.

Суда нового концепта продолжают активно строиться (см. табл. 6).

Таблиця 5  
Головні характеристики «сверхполных» сухогрузных судов смешанного река-море плавания

Характеристика	Проект RSD49	Проект RSD59C	Проект RSD59	Проект RSD62	Проект RSD67	Проект RSD67+RDB67
1	2	3	4	5	6	7
Класс судна	KM Icc2 R2 AUTI-C	KM Icc1 R2- RSN(4,5) AUTI-C	KM Icc2 R2 AUTI-ICS	M-CIT 3.5 лет 40 А	KM Icc20 B-R4-RS2,0 AUTI-C NAV-I	KM Icc20 B-R4- RS2,0 AUTI-C NAV-I (сухогруз-толкач) К В1 (баржа) К В1 (баржа) 256,50
Длина наибольшая, м	139,95	141,00	141,00	141,00	140,97	-
Длина между перпендикулярами, м	135,74	137,10	137,10	140,82	139,70	-
Ширина габаритная, м	16,70	16,98	16,98	16,98	17,20	17,20
Ширина, м	16,50	16,90	16,90	16,90	17,00	17,00
Высота борта, м	6,00	6,00	6,00	6,30	5,20	5,50 (баржа) 11051 (баржа) 23659 (суммарно) 4138 (баржа)
Кубический модуль, LBN	14023	14365	14365	15083	12608	-
Валовая вместимость, GT	5686	6143	6143	5060	4634	-
Чистая вместимость, NT	3321	3317	3317	2591	2138	-
Объем грузовых трюмов (по нижней кромке локовых закрытий), м <sup>3</sup>	10921	11200	11200	8404	8244	8065 (баржа) 16309 (суммарно)
Количество грузовых трюмов	3	2	2	4	2	2+2
Контейнероёмкость всего / в трюмах, TEU	289 / 219	252 / 192	252 / 192	225 / 105	210 / 140 (опционально)	240 / 160 (баржа опционально) 450 / 300 (суммарно)
Количество, мощность (кВт) и тип главных двигателей	2 x 1200	2 x 1200	2 x 1200	2 x 1200	2 x 1200	2 x 1200
Скорость при осадке по ЛПБ, уз	11,5	10,2	10,2	10,2	11,0	10,0
Двигательно-рулевой комплекс	2 винта + 2 руля	2 ВРК	2 ВРК	2 ВРК	2 ВРК	2 ВРК

Продолжение табл. 5

I	2	3	4	5	6	7
Мощность вспомогательных ДЭ, кВт	2 x 292	2 x 332	2 x 332	3 x 160	2 x 225	2 x 225
Мощность аварийного ДЭ, кВт	1 x 90	1 x 90	1 x 90	1 x 60	1 x 90	1 x 90
Мощность подруливающего устройства, кВт	200	250	250	230	230	230 (баржа)
Автономность, сут.	20	20	20	20	15	15
Экипаж / количество мест	10 / 12	11 / 15	11 / 15	9 / 14	9 / 12	9 / 12
Вес судна порожнем, т	2765	2707	2874	2437	2120	1186 (баржа)
Вес металлического корпуса, т	1754	1684	1783	1552	1254	932 (баржа)
Осадка по ЛГВЛ, м	4,70	4,50	4,50	3,56	3,60 (река)	3,60 (река)
Дедейт (при осадке по ЛГВЛ), т	7147	7612	7445	5640	5823	11148
Спецификационный УПО груза, м/т	1,64	1,57	1,61	1,61	1,48	1,50
Коэффициент использования водоизмещения по дедейту	0,721	0,738	0,721	0,698	0,733	0,771
Энергозатраты на единицу транспортной провозимости, мощность / (дедейт x скорость), кВт/т-узл	0,0292	0,0309	0,0316	0,0417	0,0375	0,0215
Дедейт, т	6697	7612	7445	-	-	-
Осадка 4,50 м в море						
Спецификационный УПО груза, м/т	1,76	1,57	1,61			
Коэффициент использования водоизмещения по дедейту	0,708	0,738	0,721			
Энергозатраты на единицу транспортной провозимости, мощность / (дедейт x скорость), кВт/т-уз	0,0312	0,0309	0,0316			

Продолжение табл. 5

1	2	3	4		5	6	7
			Осадка 4,00 м в пресной воде				
Дефвйт, т	5376	6204	6037		-	-	-
Спецификационный УПО груза, м <sup>3</sup> /т	2,23	1,96	2,02		-	-	-
Коэффициент использования водоизмещения по дефвйту	0,660	0,696	0,677		-	-	-
Энергозатраты на единицу транспортной производительности, мощность / дефвйт x скорость), кВт/т-уз	0,0388	0,0379	0,0390		-	-	-
Осадка 3,60 м в пресной воде							
Дефвйт, т	4511	5279	5112		5536	5823	11148
Спецификационный УПО груза, м <sup>3</sup> /т	2,72	2,34	2,42		1,64	1,48	1,50
Коэффициент использования водоизмещения по дефвйту	0,620	0,661	0,640		0,694	0,733	0,771
Энергозатраты на единицу транспортной производительности, мощность / дефвйт x скорость), кВт/т-уз	0,0463	0,0446	0,0460		0,0425	0,0375	0,0215
Осадка 3,20 м в пресной воде							
Дефвйт, т	3649	4354	4187		4608	4896	9450
Спецификационный УПО груза, м <sup>3</sup> /т	3,46	2,90	3,03		2,00	1,77	1,77
Коэффициент использования водоизмещения по дефвйту	0,569	0,617	0,593		0,654	0,698	0,741
Энергозатраты на единицу транспортной производительности, мощность / дефвйт x скорость), кВт/т-уз	0,0572	0,0540	0,0562		0,0511	0,0446	0,0254

Таблиця 6

*Хронология строительства серии танкеров проекта RST27  
и комбинированных судов проекта RST54*

Название	Верфь, строительный номер	Дата закладки	Дата спуска	Дата сдачи
1	2	3	4	5
<b>Танкера проекта RST27</b>				
ВФ Танкер-1	Красное Сормово, 02001	30.08.11	17.02.12	05.05.12
ВФ Танкер-2	Красное Сормово, 02002	15.11.11	14.04.12	23.05.12
ВФ Танкер-3	Красное Сормово, 02003	03.10.11	17.03.12	17.05.12
ВФ Танкер-4	Красное Сормово, 02004	20.12.11	18.05.12	09.06.12
ВФ Танкер-5	Красное Сормово, 02005	15.12.11	15.06.12	10.07.12
ВФ Танкер-6	Красное Сормово, 02006	28.02.12	12.07.12	20.08.12
ВФ Танкер-7	Красное Сормово, 02007	30.03.12	16.08.12	17.09.12
ВФ Танкер-8	Красное Сормово, 02008	30.04.12	28.09.12	12.10.12
ВФ Танкер-9	Красное Сормово, 02009	08.06.12	19.10.12	29.10.12
Конструктор Животовский	Красное Сормово, 02010	31.07.12	23.04.13	15.05.13
Валентин Груздев	Красное Сормово, 02011	27.09.12	17.05.13	28.03.14
Дмитрий Покровский	Красное Сормово, 02012	31.10.12	28.05.13	28.03.14
Леди Лейла	Красное Сормово, 02013	02.04.13	08.05.14	24.06.14
Леди Севда	Красное Сормово, 02014	15.04.13	12.09.14	30.09.14
Synergy 1	Красное Сормово, 02015	09.06.14	17.04.15	02.06.15
Synergy 2	Красное Сормово, 02016	23.06.14	08.05.15	13.06.15
Виктория	Красное Сормово, 02017	25.12.14	10.09.15	30.09.15
Балт-Флот 11	Красное Сормово, 02018	25.09.15	25.03.16	11.05.16
Балт-Флот 12	Красное Сормово, 02019	20.11.15	11.05.16	07.07.16
Exploger	Красное Сормово, 02020	23.12.15	19.08.16	
	Красное Сормово, 02021	15.04.16		
	Красное Сормово, 02023	31.05.16		
	Красное Сормово, 02024	28.07.16		
ВФ Танкер-11	Окская судовой верфь, 02701	20.10.11	27.04.12	17.07.12
ВФ Танкер-12	Окская судовой верфь, 02702	27.10.11	01.06.12	17.08.12
ВФ Танкер-13	Окская судовой верфь, 02703	23.12.11	28.07.12	25.09.12
ВФ Танкер-14	Окская судовой верфь, 02704	20.01.12	23.08.12	02.11.12
ВФ Танкер-15	Окская судовой верфь, 02705	20.03.12	04.10.12	04.12.12
ВФ Танкер-16	Окская судовой верфь, 02706	23.05.12	22.11.12	29.04.13
ВФ Танкер-17	Окская судовой верфь, 02707	20.06.12	08.02.13	29.04.13
ВФ Танкер-18	Окская судовой верфь, 02708	03.09.12	26.03.13	31.05.13
ВФ Танкер-19	Окская судовой верфь, 02709	18.10.12	25.04.13	28.06.13
ВФ Танкер-20	Окская судовой верфь, 02710	30.11.12	28.05.13	29.07.13
ВФ Танкер-21	Окская судовой верфь, 02711	11.01.13	10.07.13	02.09.13
ВФ Танкер-22	Окская судовой верфь, 02712	11.03.13	15.08.13	07.10.13
Балт-Флот 14	Окская судовой верфь, 02713	14.12.15	08.06.16	
Балт-Флот 15	Окская судовой верфь, 02714	14.12.15		
СВЛ Либерти	Херсонский СЗ, 8001	23.11.11	19.10.12	22.03.13
СВЛ Лоялти	Херсонский СЗ, 8002	22.12.11	17.05.13	12.07.13
СВЛ Юнити	Херсонский СЗ, 8003	22.03.12	21.06.13	30.08.13

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5
<b>Комбинированные суда проекта RST54</b>				
Балт Флот 1	Окская судовой верфь, 5401	16.12.13	10.07.14	22.10.14
Балт Флот 2	Окская судовой верфь, 5402	24.01.14	26.08.14	27.04.15
Балт Флот 3	Окская судовой верфь, 5403	05.03.14	24.10.14	27.04.15
Волга-Флот 10	Окская судовой верфь, 5404	10.04.14	16.04.15	27.11.15
Балт Флот 4	Окская судовой верфь, 5405	28.05.14	19.11.15	26.04.16
Балт Флот 5	Окская судовой верфь, 5406	28.08.14	17.03.16	01.06.16
Балт Флот 6	Окская судовой верфь, 5407	28.11.14	21.04.16	11.07.16

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Багаутдинов Р.Д., Егоров Г.В. Концепция танкеров смешанного плавания нового поколения // Морская Биржа. – 2012. – № 2 (40). – С. 22-35.
2. Буксировочные испытания модели танкера RST27 в условиях регулярного волнения / С.Н. Баскаков, Г.В. Егоров, А.В. Демидюк, В.А. Нильва / Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2013. – Вип. 1 (37). – С. 55-63.
3. Егоров А.Г. Определение весовой нагрузки судов смешанного «река-море» плавания нового поколения в начальной стадии проектирования // Морской Вестник. – 2013. – № 4 (48). – С. 19-22.
4. Егоров А.Г. Определение оптимального значения коэффициента полноты и эксплуатационной скорости составов и составных судов смешанного река-море плавания // Морской Вестник. – 2015. – № 3 (55). – С. 19-24.
5. Егоров Г.В. Выбор главных элементов сухогрузных и нефтеналивных судов смешанного «река-море» плавания // Судостроение. – 2004. – № 6. – С. 10-16.
6. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб: Судостроение, 2007. – 384 с.
7. Егоров Г.В. Выбор основных параметров корпусов судов смешанного плавания для «северного завоза» // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 2010. – № 55 (339). – С. 47-56.
8. Егоров Г.В. Основные принципы проектирования корпусов судов смешанного река-море плавания нового поколения // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип. 32. – С. 15-36.
9. Егоров Г.В. Предпосылки создания нового поколения танкеров смешанного плавания // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вип. 34(1). – С. 102-129.

10. Егоров Г.В. Предпосылки создания нового поколения сухогрузных судов смешанного плавания // *Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вып. 3 (36). – С. 10-34.*
11. Егоров Г.В. О возможности создания судна смешанного река-море плавания с предельно высоким коэффициентом общей полноты // *Труды Крыловского государственного научного центра. – 2013. – № 3 (2013). – С. 6-14.*
12. Егоров Г.В. Проектный ряд нефтеналивных судов смешанного река-море плавания // *Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2014. – Вып. 2 (41). – С. 5-22.*
13. Егоров Г.В. Суда внутреннего, смешанного река-море и каботажного плавания для перевозки негабаритных и тяжеловесных грузов // *Морская Биржа. – 2015. – № 3 (53). – С. 22-31.*
14. Егоров Г.В., Автутов Н.В. Сухогрузные суда «Волго-Дон макс» класса с пониженным надводным габаритом // *Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2013. – Вып. 1 (37). – С. 124-151.*
15. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Новые мелкосидящие речные составы для Ленского бассейна и других регионов Сибири // *Морская Биржа. – 2015. – № 1(51). – С. 16-23.*
16. Егоров Г.В., Ильницкий И.А. Концепция танкеров-продуктовозов-химовозов «Волго-Дон макс» класса нового поколения // *Морской Вестник. – 2010. – № 1 (33). – С. 15-20.*
17. Егоров Г.В., Колесник Д.В. Энергоэффективность судов смешанного плавания нового поколения // *Морской вестник. – 2012. – № 4 (44). – С. 97-103.*
18. Егоров Г.В., Осадчий Е.А. Исследование возможности использования природного газа в качестве топлива судов смешанного плавания на примере танкера проекта RST27 // *Морская Биржа. – 2012. – № 1 (39). – С. 20-29.*
19. Егоров Г.В., Тонюк В.И. Серия из двадцати семи «сверхполных» танкеров проекта RST27 // *Судостроение. – 2013. – № 6. – С. 24-31.*
20. Егоров Г.В., Демидюк А.В., Егоров А.Г. Экспериментальное определение коэффициента счала составного судна смешанного плавания с большой полнотой обводов // *Морской Вестник. – 2015. – № 4 (56). – С. 13-17.*
21. Егоров Г.В., Ефремов Н.А., Шабликов Н.В. Речное гражданское судостроение XXI века: анализ и задачи // *Морская Биржа. – 2016. – № 1 (55). – С. 18-29.*
22. Егоров Г.В., Каневский Г.И., Станков Б.Н. Исследование ходовых качеств судна смешанного плавания большой полноты с винторулевыми колонками // *Морская Биржа. – 2011. – № 4 (38). – С. 16-20.*



23. *Оптимизация обводов судна смешанного плавания «Волго-Дон макс» класса / Г.В. Егоров, В.И. Тонюк, Б.Н. Станков, А.В. Печенюк / 36. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2012. – № 2. – С. 4-10.*
24. *Предпосылки создания и концепты нового поколения сухогрузных судов смешанного река-море плавания для Украины / Г.В. Егоров, С.Н. Баскаков, А.Г. Егоров, И.Н. Бойко, В.А. Нильва // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вып. 2(35). – С. 12-44.*
25. *Проработка вариантов пропульсивного комплекса судна смешанного плавания класса «Волго-Дон макс» / Г.В. Егоров, И.А. Ильницкий, Б.Н. Станков., А.В. Печенюк / Морской вестник. – 2011. – № 2 (38). – С. 101-106.*

*Стаття надійшла до редакції 10.10.2016*

**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 626.02:622.242.4

Г.В. Егоров

### АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЗАДАЧИ СУДОСТРОЕНИЯ ДЛЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

*Выполнен детальный анализ результатов строительства судов водного транспорта в XXI веке по всем типам судов: грузовые, самоходные и несамоходные, буксиры и толкачи, пассажирские суда и паромы, суда технического флота, катера различного назначения. Проанализированы достигнутые темпы постройки новых судов и показаны перспективы строительства речных и смешанного плавания судов. Упор сделан на обоснование перспективных типов новых судов, в том числе инновационного типа: со «сверхполными» обводами, с малым надводным габаритом, комбинированных, составных.*

**Ключевые слова:** водный транспорт, речные суда, суда смешанного река-море плавания, судостроение, проектирование, суда со «сверхполными» обводами, суда с малым надводным габаритом, комбинированные суда, составные суда.

*Виконано детальний аналіз результатів будівництва суден водного транспорту в XXI столітті по всіх типах суден: вантажні, самохідні й несамохідні, буксири й штовхачі, пасажирські судна й пороми, судна технічного флоту, катера різного призначення. Проаналізовано досягнуті темпи будівництва нових суден і показано перспективи будівництва річкових і змішаного плавання суден. Зроблено наголос на обґрунтуванні перспективних типів нових суден, у тому числі інноваційного типу: з дуже повними обводами, з малим надводним габаритом, комбінованих, составних.*

**Ключові слова:** водний транспорт, річкові судна, судна змішаного река-море плавання, суднобудування, проектування, судна з дуже повними обводами, судна з малим надводним габаритом, комбіновані судна, составні судна.

*The detailed analysis of results of all type water transport vessels building in XXI century is made: cargo, self-propelled and non-self-propelled, tugs and pushers, passenger vessels and ferries, technical fleet vessels, various functions motor boats. The reached rates of building of new vessels are analyzed and per-spectives of building of river and mixed river-sea navigation vessels are shown. Emphasis is put on ground-ing of perspective types of new vessels, including innovation ones: with «superfull» forms, with small air draught, combined, integrated.*

**Keywords:** water transport, river vessels, mixed river-sea navigation vessels, shipbuilding, design, vessels with «superfull» forms, vessels with small air draught, combined vessels, integrated vessels.

**Постановка проблеми.** Реальное гражданское судостроение XXI века в постсоветских государствах фактически занято строительством судов внутреннего, смешанного река-море плавания, судов для каботажных рейсов, портовых судов.

В условиях жесткой конкуренции мирового рынка судостроения, а также потребностей народного хозяйства, когда становится все более ясно, что упор на перевозки грузов автомобилями и железной дороги существенно увеличивают транспортные издержки, приносят заметный ущерб экологии, и, главное, требуют грандиозных вложений со стороны государства на поддержание сети автодорог и, по сути, восстановления, железнодорожной инфраструктуры, в которую с 1991 года практически ничего не вкладывалось, тенденция на строительство судов этого типа остается неизменной.

Надо ясно понимать, что и в перспективе не будут строить украинские верфи морские супертанкера и газовозы, так как не смогут конкурировать с верфями в Китае и Южной Корее. Совершенно иное дело, когда речь идет о судах для внутреннего потребления.

Впервые это было показано в ряде публикаций автора, посвященных судам смешанного река-море плавания [2; 3; 4], причем общие закономерности для постсоветского пространства действительны и для условий Украины – см. [1; 6; 7; 8]. При этом особую роль должно играть государство – см. анализ законов начала XX века по государственной поддержке отечественного судостроения и судоходства [5].

**Целью статьи** является анализ результатов строительства судов водного транспорта в XXI веке по всем типам судов и обоснование перспективных типов новых судов, в том числе инновационного типа с «сверхполными» обводами, с малым надводным габаритом, комбинированных, составных.

**Изложение основного материала.** В отечественной истории именно с водного и начинался транспорт как таковой. Особенно когда речь шла о перемещении достаточно большого количества грузов. Так было до второй трети XIX века, когда все более заметную роль стали играть железные дороги. К середине XX века речной транспорт обеспечивал до 20-25 % перевозок массовых грузов и перевозки в районы, куда не выгодно тянуть железную дорогу.

После распада СССР система водного транспорта оказалась в сложной ситуации, так как изменение экономики с плановой на «рыночную» привело к изменению всей логистики, особенно в части партионности, что вывело многие грузы и направления с внутренних водных путей (ВВП).

Поэтому имевшиеся в 1980 году 48000 судов со средним возрастом 14,9 года, уже в 1990 году, превратились в 44654 судна средним возрастом 18,9 года, в 2000 году – 32334 судна и 24,5 года, на 31 декабря 2015 года – 23500 судов и 32,9 года. Фактически за 35 лет судов стало в два раза меньше, а средний возраст вырос практически в два раза. При

этом списание (в 2000-х годах) достигало до 800-1000 судов в год (см. таблицу 1). Тенденции сокращения водного транспорта Днепра и Дуная были примерно такими же.

*Таблица 1*

*Динамика численности и среднего возраста речных судов*

Год	Количество судов, ед. на 31 декабря	Построено новых судов за год	Средний возраст, лет
1980	48000		14,9
1990	44654		18,94
1993	41308		22,88
1994	37920		23,12
1996	34034		23,95
2000	32334	102	24,46
2001	30325	99	24,72
2002	29768	127	25,58
2003	29657	109	24,72
2004	29152	107	25,58
2005	28776	153	27,24
2006	28336	190	28,30
2007	28215	230	29,20
2008	26150	152	29,80
2009	25818	151	30,60
2010	25663	206	31,52
2011	23851	183	32,43
2012	22440	178	33,3
2013	22462	242	33,27
2014	22678	282	33,26
2015	23500	104	32,9

Источник: Российский Речной Регистр

При этом прогноз грузопотоков, выполненный специалистами Санкт-Петербургского государственного университета морского и речного флота показывает, что размер грузовой базы внутреннего водного транспорта и грузовой базы, потенциально тяготеющей к ВВП, находящейся на железнодорожном и автомобильном транспорте, потенциально может составить к 2030 году 244 млн. тонн, 707 млн. тонн и 49 млн. тонн соответственно. С учетом переключения части грузопотоков с железнодорожного и автомобильного транспорта на внутренний водный, грузовая база может к 2030 году составить 334 млн. тонн. При этом следует отметить, что максимально возможный объем перевозок по возможностям флота в 144 млн. тонн будет достигнут в 2019 году, после чего он начнет

снижаться пропорционально выбытию флота и может составить при сохранении тренда выбытия флота к 2030 году 41 млн. тонн.

Украина: в советский период по 15 рекам перевозилось около 60 млн. тонн грузов. Сегодня работа продолжается по Днепру и Дунаю и начинает заново осваиваться Южный Буг. Фактически перевозки по ВВП сократились более чем на порядок (до 3-4 млн. тонн), однако потенциальная днепровская грузовая база прогнозируется приблизительно в 70 млн. тонн и до 350 тыс. TEU. Между тем, в сопоставимых с Украиной по территории Германии и Румынии доля речного транспортного сегмента составляет 13-27 %. Сейчас водный транспорт Украины перевозит менее 1 % грузопотока страны.

Старение флота обрело настолько масштабный характер, что вполне серьезно заговорили о «гибели» водного транспорта, то есть его полного замещения в народном хозяйстве железнодорожным и автомобильным. Однако такие решения возможны только при продолжении сокращения общих объемов перевозок и при практически государственном дотировании перевозок по автодорогам (ежегодное восстановление покрытий) и такой поддержке железной дороге. Теряют позиции и украинские железные дороги (по РЖД ситуация несколько иная, хотя в основном за счет бюджетной поддержки), поэтому все чаще грузы отправляются на перегруженных сверх всякой меры автопоездах по автодорогам, что, как известно, уже стало причиной коллапса шоссейной сети. А ведь это отнюдь на самый дешевый способ доставки – в среднем перевозка 50 тонн по дороге стоит столько же, сколько 127 тонн – по реке. Для сравнения – перспективные планы Европейского Союза предусматривают, что к 2040 году железнодорожным и внутренним водным транспортом будет доставляться не менее 50 % грузов, перевозимых на расстояние более 300 км.

Понятно, что в таких условиях обновление флота судов речного и смешанного река-море плавания становится приоритетной задачей и государство не может не обратить внимание на водный транспорт.

Например, благодаря принятому в России в 2011 г. закону о поддержке судоходства и судостроения стремительная деградация флота в 2011-2015 годах была остановлена. Уже четыре года подряд количество судов прекратило уменьшаться и средний возраст НЕ РАСТЕТ: 2012 год – 22440 единицы и 33,3 года; 2013 год – 22462 и 33,27 года, 2014 год – 22678 и 33,26 года, а на начало 2016 года наблюдается даже рост количества судов с сокращением среднего возраста – 23500 единиц и 32,9 года.

Происходит этот вполне положительный процесс, в основном, за счет нового судостроения. В XXI веке было получено, причем в основном с отечественных заводов, 2625 единиц судов и катеров всех типов, в том числе и тех маломерных, которые раньше регистрировались в ГИМС. В среднем сдавалось около 170 заказов ежегодно.

Сегодня ситуация с гражданским судостроением в начале XXI века весьма напоминает ту, которая была в Российской империи сто лет

назад. Достаточно вспомнить серию публикаций начала XX века, подготовленных выдающимся инженером К.А. Теннисоном:

– «Проект мер поощрения русского торгового мореходства в связи с развитием отечественного судостроения и металлургической промышленности», 1902 год;

– статья в журнале «Русское судоходство» «Война и русское судоходство», 1916 год и др.,

– законы Российской империи:

– «Закон 24 мая 1904 года о выдаче правительственных ссуд и на приобретение вновь построенных в России из русских материалов деревянных и металлических морских торговых судов»;

– «Закон 21 мая 1912 года о мерах к поощрению отечественного судостроения».

Теннисон отмечал, что необходимо создать спрос на суда, построенные в стране. Понятно, что такой спрос появится в первую очередь со стороны своих же судовладельцев. Соответственно, им надо помочь «встать на ноги» – создать систему мер поощрения.

Главная мысль автора была весьма простой: «всякое мероприятие, содействующее развитию русского торгового флота является в то же время и мерой поощрения русского судостроения».

В итоге, как и сейчас, практически весь речной флот и флот Каспия, начиная с 1909 года, строился на российских верфях. К 1913 году на реках России работало 5,5 тыс. пароходов и 23 тыс. несамоходных судов. Для сведений, в 1895 году пароходов на отечественных ВВП было в два раза меньше.

Сегодня роль государства в сохранении и развитии речного судостроения не менее заметна.

Например, в России был принят закон о поддержке судостроения и судоходства, в соответствии с которым судостроительные заводы-резиденты особых экономических зон были освобождены от уплаты земельного налога и налога на имущество организаций сроком на 10 лет. Также были верфи освобождены от уплаты таможенных пошлин на ввозимое импортное оборудование, не производящееся в стране. В свою очередь судоходные компании были освобождены от налога на прибыль, полученную от эксплуатации или продажи судов, построенных в стране, и на период с 2012 года по 2027 год для этих компаний устанавливаются нулевые тарифы страховых взносов в Пенсионный фонд, Фонд социального страхования и Федеральный фонд обязательного медицинского страхования. Преференциями и льготами, предусмотренными данным законом, будут пользоваться судовладельцы, имеющие суда, построенные с 1 января 2010 года в России и для России (зарегистрированные в Российском международном реестре судов, в том числе речные и «река-море» плавания).

Кроме того, действует постановление правительства о компенсации 2/3 процентной ставки на кредит, если судно построено для отечественной компании на отечественной верфи.

Государство может действовать напрямую бюджетными средствами посредством целевых программ. Согласно ФЦП «Развитие транспортной системы (2010-2020 годы)» осуществляются реконструкция и строительство гидросооружений и обеспечивающего технического флота.

Происходит создание новых проектов судов внутреннего и смешанного плавания в рамках ФЦП «Развитие гражданской морской техники» на 2009-2016 годы». Наиболее яркий пример – уникальный концепт «сверхполного» грузового судна «Волго-Дон макс» класса смешанного река-море плавания, который материализовался за 2012-2015 годы в тридцать два построенных танкера проекта RST27 (самая большая серия судов в постсоветское время) и еще четыре комбинированных танкера-сухогруза проекта RST54, спроектированных на базе проекта RST27. Суда продолжают строиться даже в сегодняшних сложных экономических условиях – заказаны еще шесть судов проекта RST27 и шесть судов проекта RST54, проектируется новое сухогрузное судно проекта RSD59 (заказ – десять судов), создан нефтехимовоз-рудовоз (для перевозки нефтепродуктов и наливных химических грузов в танках в одну сторону и сухих грузов в трюме – в другую сторону), сухогруз для «северного завоза» проекта RSD62, танкера-продуктовозовы проектов RST12 и RST28, все – в «сверхполных» обводах.

При этом следует отметить, что заказчиками являются, как правило, международные компании (мальтийские, кипрские, азербайджанские, казахстанские, туркменские, арабские, швейцарские, канадские и др), хотя суда и строятся для работы через ВВП.

В таблице 2 приведены сводные данные по фактическому пополнению водного транспорта в XXI веке (по данным на 01.01.16).

За 16 лет нового века, по состоянию на 1 января 2016 года, было получено 317 новых грузовых самоходных судов (см. таблицы 3-5). Среди них 301 ограниченного морского и смешанного море-река и 16 внутреннего плавания, в том числе 166 танкеров, 14 танкеров-бункеровщиков, 5 комбинированных судна и 132 сухогруза.

Наиболее востребованными были и остаются суда «Волго-Дон макс» класса – суда, отвечающие габаритам Волго-Донского судоходного канала (ВДСК) и предназначенные для замены известных советских серий «Волгонепфтей» и «Волго-Донов», т.е. универсальные по своим размерам суда для работы на европейской части внутренних водных путей, так как они же являются судами «Днепро макс» класса. Для сведения, в 2013 году по ВДСК было перевезено рекордное с 1983 года количество груза – 12,7 млн. тонн, при этом по Днепру – до 5 млн. груза (при существенно большей, практически на порядок грузовой базе).

Таблица 2

*Фактическое пополнение водного транспорта в XXI веке  
(по данным на 01.01.16)*

Тип судна	Построено	Примечания
<b>Самоходные грузовые суда, в том числе:</b>	<b>317</b>	<b>+ 40 в постройке</b>
<b>Самоходные грузовые суда «Волго-Дон макс» класса из них:</b>	<b>186</b>	<b>+ 33 в постройке</b>
- нефтеналивные суда	133	+ 13 в постройке
- комбинированные суда	5	+ 6 в постройке
- сухогрузные суда	48	+ 14 в постройке
<b>Самоходные грузовые суда других классов, из них:</b>	<b>131</b>	<b>+ 7 в постройке</b>
- нефтеналивные суда других классов	12	+ 1 в постройке
- нефтеналивные суда специально для Каспийского моря	21	
- танкеры-бункеровщики	14	+ 2 в постройке
- сухогрузные суда других классов	84	+ 4 в постройке
<b>Сухогрузные суда с трюмами для проектных грузов (для Каспия)</b>	<b>21</b>	<b>+ 13 в постройке</b>
<b>Несамоходные грузовые суда, в том числе:</b>	<b>232</b>	
<b>Несамоходные грузовые суда «Волго-Дон макс» класса, из них:</b>	<b>63</b>	
- нефтеналивные баржи	30	
- сухогрузные баржи	33	
<b>Несамоходные грузовые суда других классов, из них:</b>	<b>169</b>	<b>129 для Сибири и Дальнего Востока</b>
- нефтеналивные баржи	47	
- сухогрузные баржи-площадки	94	
- сухогрузные баржи-площадки для перевозки автотехники	21	
- сухогрузные трюмные и бункерные баржи	7	
<b>Буксиры и буксиры-толкачи, в том числе:</b>	<b>54</b>	<b>39 для Сибири, Дальнего Востока и Севера</b>
- толкачи мощностью 1400-1800 кВт	11	
- буксиры и толкачи мощностью 400-600 кВт	17	
- буксиры и толкачи мощностью 250 кВт и менее	26	



Продолжение табл. 2

Тип судна	Построено	Примечания
Пассажирские и грузопассажирские суда (водоизмещающие, не относящиеся к маломерным), в том числе:	Около 200	
- прогулочные для Санкт-Петербурга и Москвы	116	
- круизные пассажирские	5	«Александр Грин», «Русь Великая» и 3 типа «Сура»
- пассажирские для местных линий	20	18 для Сибири, Дальнего Востока и Севера + 2 для Астраханской области
- паромы самоходные и несамоходные	33	22 для Сибири, Дальнего Востока и Севера
Вспомогательный флот и технический флот, в том числе:	Более 200	
- обстановочные	76	
- водолазные, пожарные и спасательные	20	
- экологические	6	
- земснаряды	51	
Катера различного назначения	Более 400	

Источник: Морское Инженерное Бюро

Таблица 3

Сводная статистика по новым грузовым судам за период 2000-2015 год

Годы	Проект						
	Нефтеналивные суда «Волго-Дон макс» класса	Нефтеналивные суда других классов	Всего нефтеналивных судов	Сухогрузные суда «Волго-Дон макс» класса	Сухогрузные суда других классов	Всего сухогрузных судов	Общее количество судов
2000	3	5	8	2	1	3	11
2001		1	1	1	1	2	3
2002	2	3	5	1	3	4	9
2003	6	2	8		4	4	12
2004	4	3	7	2	4	6	13
2005	9	7	16	3	7	10	26
2006	4	5	9	4	10	14	23
2007	1	6	7	6	12	18	25
2008	5	3	8	4	8	12	20
2009	4	2	6	3	5	8	14
1010	12	2	14	1	5	6	20

Продолжение табл. 3

Годы	Проект						
	Нефтеналивные суда «Волго-Дон макс» класса	Нефтеналивные суда других классов	Всего нефтеналивных судов	Сухогрузные суда «Волго-Дон макс» класса	Сухогрузные суда других классов	Всего сухогрузных судов	Общее количество судов
2011	17		17	9	7	16	33
2012	22		22	4	11	15	37
2013	22	1	23	6	3	9	32
2014	14	5	19	2	2	4	23
2015	13	2	15		1	1	16
Построено + в постройке	138 + 19	47+3	185 + 22	48 + 14	84 + 4	132 + 18	317 + 40

Источник: Морское Инженерное Бюро

Всего их было построено 186 единиц или 59 % от общего количества новых грузовых судов. Причем российские верфи обеспечили поставку 127 сухогрузов и танкеров этого класса (68 %), турецкие – 25, китайские – 20 и украинские – 14 (8 % от общего количества).

По остальным сегментам грузового флота воднотранспортной отрасли, в России было построено 95 судов (72%), в Китае и Вьетнаме – 19, Турции – 17, Украине – 1.

Более подробные эти данные приведены в таблице 6.

**В большинстве своем речь шла о судах нового поколения, так как они строились по разработанным после 2000 года проектам, в том числе – Морского Инженерного Бюро – 173 судна (56 %), Волго-Каспийского бюро – 59 судов (19 %) и ЦКБ «Вымпел» – 25 судов (8 %).**

Следует заметить, что, например, специально для Каспийского моря был предназначен 21 танкер дедвейтом около 12000 тонн (пр. 19169, 00210, 00230, 00260). Кроме того, для работы в условиях Каспийского моря эффективно используются на полную загрузку практически все серии танкеров «Волго-Дон Макс» пр. 005RST01, RST22, RST22M, RST25, RST27, 19612, 19900 и др., а также нефтеналивные суда меньших размеров, такие как пр. 0201Л.

Часть серий сухогрузных судов также были спроектированы с учетом необходимости перевозки проектных грузов на Каспий – это 9 судов типа «Волго-Дон макс» пр. RSD49 (три – в постройке), 12 судов типа «Каспиан экспресс» пр. 003RSD04 с модификациями. Там же успешно работают на полную осадку суда пр. 005RSD03 и RSD18 (в двух сериях 17 судов).

Таблиця 4  
Танкеры морского ограниченного, смешанного река-море и внутреннего плавания. Построено 185 судов

Проект	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Построено в постройке
	Нефтеналивные суда «Волго-Дон» макс. класса																
RST27																	
19614			1	3	2	3	2	1	1	1	3	8	14	11	4	3	32+6
00SRST01/RST22/RST22M			1	1	2	4	2	4	3			4	1	1	1	7	25
19900																	31
19612	3			2							2	1	1	2			6
17103						2											5
00216																	2
RST25											3						3
52													2	3			5+4
RST11														1	2		3
HCR0805																	0+1
507AT											4	4	4	3	5		20+2
RST54														1			1
ALB06															1	3	4+6
Всего	3		2	6	4	9	4	1	5	4	12	17	22	22	14	13	138+19
Нефтеналивные суда других классов																	
0201Д	4	1	3	2													10
19619					2	1	3	2	2	2							14
00210/00230						4	1	1									6
00260									1								1
15790Т					1												1
RST05														1	1		2
RST26															1		1+1
001RST02						1											1
RT18																	3
RT29															3		2
14891							1										1
HK698СКО	1					1		3									5
92800																	0+1
00213																	0+1
Всего	5	1	3	2	3	7	5	6	3	2	2			1	5	2	47+3
нефтеналивных судов	8	1	5	8	7	16	9	7	8	6	14	17	22	23	19	15	185+22

Таблиця 5  
Сухогрузи морського обмеженого, змішаного река-море і внутрішнього плавання. Побудовано 132 судна

Проект	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Побудовано + в постройке
Сухогрузные суда «Волго-Дон» макс. класса																	
RSD44												8	2				10
006RSD02								1									1
006RSD05					2	2	3	1									8
RSD19							3	1									4
007RSD07									1								1
19610	2	1	1														4
RSD39																	0+1
RSD49													2	5	2		9+3
RSD59																	0+10
005RSD06						1	1	2	2	1	1	1					9
RSD58														1			1
RSD20									1								1
Всего	2	1	1	2	2	3	4	6	4	3	1	9	4	6	2		48+14
Сухогрузные суда других классов																	
RSD17							1	4									5
17310	1	1	2														4
005RSD03						3	3	2	2	1	1						12
DCV33								1	2	3							6
DCV36												4	6				10
003RSD04					1	2	3	1	3	1	1						12
RSD18												2	1	1	1		5+1
RSD08												1					1
RSD60																	0+2
RSD12							1	2	1								4
00101			1	3	2	2	2	1					2				13
01010			1	3									1				4
17605									1								2
559E/14PK													1				1+1
MHRI/1-36.07								1									1
JSL406														1	1		2
ALB05																	1
157																	1
Всего	1	1	3	4	4	7	10	12	8	5	5	7	11	3	2	1	84+4
Всего сухогрузных судов	3	2	4	4	6	10	14	18	12	8	6	16	15	9	4	1	132+18

Таблиця 6

*Фактическое пополнение флота в XXI веке  
самоходными грузовыми судами внутреннего, смешанного  
и ограниченных районов плавания  
(по данным на 01.01.16)*

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
<b>Самоходные грузовые суда «Волго-Дон макс» класса</b>		
Танкер-продуктовоз пр. RST27* типа «ВФ ТАНКЕР» дедвейтом 7100/5420 тонн	32	Завод «Красное Сормово» (+ 4 в постройке), Окская судовой верфь (+ 2 в постройке), Херсонский СЗ
Танкер-продуктовоз пр. 19614 типа «Нижний Новгород» дедвейтом 5600/5100 тонн	25	Завод «Красное Сормово»
Танкер-продуктовоз пр. 005RST01* типа «Армада Лидер» дедвейтом 6500/4700 тонн, пр. RST22* типа «Новая Армада» дедвейтом 7000/4600 тонн, пр. RST22M* дедвейтом 7100/4600 тонн	31	Завод «Красное Сормово», Турция
Танкер-продуктовоз пр. 19612 типа «СФАТ» дедвейтом 7000 тонн	5	Завод «Красное Сормово»
Танкер-продуктовоз пр. 19900 дедвейтом 7100/4600 тонн	6	Завод «Красное Сормово»
Танкер-продуктовоз пр. 17103 дедвейтом 5420/4250 тонн	2	Волгоградский СЗ
Танкер-продуктовоз пр. 00216 дедвейтом 6610/5300 тонн	3	Окская судовой верфь
Танкер-продуктовоз пр. RST25* типа «Александр Шемагин» дедвейтом 6700/5240 тонн	5	Судовой верфь братьев Нобель (Рыбинск), Зеленодольский СЗ, СЗ «Лотос» (+ 4 в постройке)
Танкер пр. 52 дедвейтом 6619/5327 тонн	3	Костромской ССЗ (2), Ахтубинский ССЗ (1)
Танкер пр. RST11* дедвейтом 6586 / 4677 тонн	в постройке	Самарская РЭБ (в заказе 1)
Танкер пр. RST12* дедвейтом 7150 / 5600 тонн	в постройке	Турция (в заказе 2)
Танкер-продуктовоз-химовоз пр. HCR0805 типа «Каллиопа» дедвейтом 6024-7441 тонн	20	Китай (+ в заказе 2)
Танкер-продуктовоз пр. 507AT типа «Мидволга» дедвейтом 6290 тонн	1	Городецкий СРЗ
Сухогруз пр. RSD44* типа «Герои Сталинграда» дедвейтом 5540 тонн	10	Окская судовой верфь

Продолжение табл. 6

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Сухогруз пр. 006RSD02* типа «Надежда» дедвейтом 7078/4680 тонн	1	Окская судовой верфь
Сухогруз пр. 006RSD05* типа «Палмали Трейдер» дедвейтом 6970/4580 тонн	8	Волгоградский СЗ
Сухогруз пр. RSD19* типа «Хазар» дедвейтом 7004 / 4596 тонн	4	Волгоградский СЗ
Сухогруз пр. 007RSD07* типа «Танаис» дедвейтом 7215/4778 тонн	1	Волгоградский СЗ
Сухогруз пр. 19610 типа «Волга» дедвейтом 6200 / 3825 тонн	4	Завод «Красное Сормово»
Сухогруз пр. RSD49* дедвейтом 7154 / 4518 тонн	9	Невский ССЗ (+ 3 в постройке), СЗ «Лотос»
Сухогруз пр. 005RSD06* с модификациями типа «Челси» дедвейтом 5827/5080 тонн	9	Херсонский СЗ
Сухогруз пр. RSD58* «Леда» дедвейтом 6280/4700 тонн	1	Херсонский СЗ
Сухогруз пр. RSD20* типа «Святой Николай» дедвейтом 6862/4280 тонн	1	Херсонский СЗ
Танкер-площадка пр. RST54* типа «Балт Флот» дедвейтом 5745 тонн	4	Окская судовой верфь (+ 6 судов в постройке)
Нефтерудовоз пр. ALB06 типа «Петробалк» дедвейтом 7721/4353 тонны	1	Турецкая верфь
<b>Самоходные грузовые суда других классов</b>		
Сухогруз пр. RSD17* типа «Еврокрузер» дедвейтом 6354 тонны	5	Завод «Красное Сормово»
Сухогруз пр. 17310 типа «Россия» дедвейтом 3837 тонн	4	Завод «Красное Сормово»
Сухогруз пр. 005RSD03* типа «Карелия» дедвейтом 5500/3340 тонн	12	Онежский СЗ
Сухогруз пр. DCV33* дедвейтом 4570 тонн	6	Онежский СЗ
Сухогруз пр. DCV36* дедвейтом 5026 тонн	10	Китай
Сухогруз пр. 003RSD04* с модификациями типа «Каспиан Экспресс» дедвейтом 3756/2584 тонны	12	Турция
Сухогруз пр. RSD18* типа «UCF» дедвейтом 5185/3528 тонн	5	Китай (+ 1 на плаву)
Сухогруз пр. RSD08* типа «Омакс» дедвейтом 3794 / 3258 тонн	1	Китай
Сухогруз пр. RSD60* типа «Единый» дедвейтом 4600/2700 тонн	В постройке	Балаковский завод (2 в постройке)

Продолжение табл. 6

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Танкер-продуктовоз пр. 0201Л типа «Лукойл» дедвейтом 6600/3640 тонн	10	Волгоградский СЗ
Танкер пр. 19619 дедвейтом 13110 тонн	14	Завод «Красное Сормово»
Танкер пр. 00210, 00230 типа «Астана» дедвейтом 12360 тонн	6	Выборгский СЗ
Танкер пр. 00260 дедвейтом 12125 тонн	1	Зеленодольский СЗ
Танкер пр. 15790Т типа «Андропов» дедвейтом 4585 тонн	1	Судоверфь братьев Нобель (Рыбинск)
Сухогруз пр. 00101 типа «Русич» дедвейтом 5190/3855 тонн	13	Окская судоверфь, Завод «Красное Сормово», Зеленодольский СЗ, Сайгонская верфь (Вьетнам)
Сухогруз пр. 01010 типа «Валдай» дедвейтом 5010/3800 тонн	4	Северная верфь
Сухогруз пр. 17605 типа «Солдкамский» дедвейтом 6820 тонн	2	Верхнекамский судостроительный комплекс
Сухогруз пр. ALB05 типа «Azov Future» дедвейтом 12000 тонн	1	Турция
Танкер-бункеровщик пр. RST05* типа «Нарва» дедвейтом 3955/2868 тонн	2	Судоверфь «Дон-Кассенс», Аксай (2). Херсонский СЗ
Танкер-химовоз пр. RST26* типа «Глостер» дедвейтом 4600/2820 тонн	1	Херсонский СЗ (в постройке второй)
Сухогруз пр. RSD12* типа «Azov XL» дедвейтом 8048 тонн	4	Турция
Танкер-бункеровщик пр. 001RST02* типа «Экомаринер-1» дедвейтом 1130 тонн	1	Астраханская судоверфь
Танкер-бункеровщик класса «О» пр. RST18* типа «Рассвет» дедвейтом 517 тонн	3	Ярославский СЗ
Танкер-бункеровщик-эколог класса «О» пр. RST29* типа «Эколог-ББК» дедвейтом 207 тонн	2	Сосновский СЗ
Танкер класса «О» пр. 14891 типа «ЮГРА» дедвейтом 821 тонну	1	Ярославский СЗ
Танкер-бункеровщик с нефтесборным оборудованием пр. 92800 дедвейтом 450 тонн	1 в постройке	Окская судоверфь

*Продолжение табл. 6*

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Танкер-бункеровщик класса «О» пр. 00213 типа «Владимир Матвеев» дедвейтом 1200 тонн	1 в постройке	Красноярская судостроительная верфь
Танкер-бункеровщик-судно комплексного обслуживания класса «О-ПР» пр. ПК698СКО типа «Экосервис» дедвейтом 178 тонн	5	СРЗ «Красная Кузница», Архангельск
Сухогруз-площадка класса «М» пр. 559Б/14ПК типа «Коломна-1» дедвейтом 3160 тонн	1	Судоверфь ОАО «Порт Коломна» (в постройке второй)
Сухогрузное судно-площадка класса «Р» пр. МНП/1-36.07 типа «Мурена» дедвейтом 94 тонны	1	Красноярский СЗ
Сухогрузное судно-площадка класса «Р» пр. 157 типа «Андромеда-1» дедвейтом 100 тонн	1	Красноярский СЗ
Сухогрузное судно класса «Р» пр. JSL406 типа «Транс-Амур» дедвейтом 565 тонн	2	Цзямусы, Китай
Примечание. * – Проект Морского Инженерного Бюро		

Источник: Морское Инженерное Бюро

Конечно, помимо строительства крупнотоннажного самоходного грузового флота, после 2000 годов в России осуществлялись поставки и других транспортных судов – 232 баржи и 54 толкача и буксира, причем в значительной части для восточных бассейнов (см. таблицу 7).

В классе «Волго-Дон макс» было построено 63 несамоходных баржи: 53 смешанного река-море (из них 30 нефтеналивных) и 10 сухогрузных класса «М».

В остальных классах было построено 169 барж по 66 проектам (!!!), из них 47 нефтеналивных, 94 баржи-площадки (56 %), 21 баржа-площадка, приспособленных для перевозки автотехники (чаще всего с аппаратами), 7 трюмных и бункерных (из них 6 смешанного река-море плавания).

**Для Восточных бассейнов было предназначено 129 единиц флота (76 %), все строились на местных заводах, например, в Красноярске 48 барж (в основном на Красноярской судоверфи), в Тюмени 21 (в основном Тюменьсудокомлектом).**

Среди построенных 54 буксиров 25 предназначены для толкания барж, остальные – для буксировки и кантовочных работ на рейде и в порту.



Таблиця 7

*Фактическое пополнение речного флота в XXI веке  
несамоходными грузовыми судами и толкачами-буксирами*

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
<b>Несамоходные грузовые суда «Волго-Дон макс» класса</b>		
Нефтеналивные баржи класса R3-RSN пр. 004ROB05* типа «Палойл» дедвейтом 4324/3897 тонн	7	Волгоградский СЗ
Нефтеналивные баржи класса М-ПР 2,5 пр. 011003В дедвейтом 4800 тонн	4	Волгоградский СЗ
Нефтеналивные баржи класса R3-RSN пр. ROB07* дедвейтом 4400 тонн	в постройке	Судоверфь братьев Нобель (заказ 2)
Нефтеналивные баржи класса R3-RSN пр. 2731 с модификациями дедвейтом 4500/3700 тонн	8	Костромской ССЗ
Нефтеналивные баржи класса М-СП 3,5 пр. 102 дедвейтом 4397/4190 тонн	2	Костромской ССЗ
Нефтеналивные баржи класса М-ПР 2,5 пр. 2734 дедвейтом 5000 тонн	4	Балтийский завод
Нефтеналивные баржи класса М-ПР 2,5 пр. 2Р156.2 дедвейтом 4967 тонн	2	СЗ им III Интернационала, Астрахань
Нефтеналивные баржи пр. 27341 дедвейтом 5000 тонн типа «Ника-1»	1	Благовещенская РЭБ (+ 1 в постройке)
Сухогрузные баржи класса R2 пр. DCB23* типа «Птичь» дедвейтом 6222 тонны	2	Western Baltija Shipbuilding, Клайпеда
Сухогрузные баржи класса М-СП 3,5 пр. 03020 дедвейтом 4000 тонн	2	Окская судоверфь
Сухогрузные баржи класса М-СП 3,5 пр. 03040 дедвейтом 4643 тонны	5	Окская судоверфь
Сухогрузные баржи-площадки класса R3-RSN пр. 03060 грузоподъемностью 3640 тонн	13	Невский ССЗ, завод «Астраханский корабель», Зеленодольский СЗ
Сухогрузные баржи класса М 3,0 пр. 82 типа «ПТ 82001» дедвейтом 4200 тонн	10	Завод «Красное Сормово»
Сухогрузные баржи-площадки пр. ГРПН.360 типа «АРК-10» дедвейтом 3000 тонн	3	СЗ «Лотос»

Продолжение табл. 7

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
<b>Несамостоятельные грузовые суда других классов</b>		
Сухогрузные баржи-площадки класса «О» пр. 82260 грузоподъемностью 1873/2100 (в классе «Р») тонн	20	Красноярская судовой верфь
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. 0150/2907 грузоподъемностью 1100 тонн	4	Красноярская судовой верфь
Сухогрузные баржи-площадки класса «О» пр. 1960 грузоподъемностью 2905 тонн	8	Красноярская судовой верфь
Сухогрузные баржи-площадки класса «О» пр. 341А грузоподъемностью 600 тонн	1	Красноярская судовой верфь
Сухогрузные баржи-площадки класса «О» пр. 2065/Р93 грузоподъемностью 740 тонн	2	Подтесовская РЭБ
Сухогрузные баржи-площадки класса «О» пр. ЛБК-1800 грузоподъемностью 1654 тонны	3	Красноярский ССЗ
Сухогрузные баржи-площадки класса «О» пр. 185 грузоподъемностью 1592 тонны	1	Красноярский ССЗ
Сухогрузные баржи-площадки класса «О» пр. 944Б/150 грузоподъемностью 332 тонны	2	Красноярский ССЗ
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» грузоподъемностью 247 тонн пр. 0035/81212 типа «БСП»	1	Красноярский ССЗ
Сухогрузные накатные баржи-площадки класса «О» грузоподъемностью 250 тонн пр. А4.81216М2 типа «БП-001»	1	Красноярский ССЗ
Сухогрузная баржа-площадка класса «Р» пр. 5147 грузоподъемностью 180 тонн	1	Красноярский ССЗ
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. 81216М типа «МП-274» грузоподъемностью 346 тонн	1	Осетровская верфь
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. 54 типа «МП-270» грузоподъемностью 275 тонн	2	Осетровская верфь
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. АСПО-035.01 грузоподъемностью 100 тонн	1	Осетровская верфь

Продолжение табл. 7

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. 81218 грузоподъемностью 950 тонн	18	Благовещенская РЭБ, Осетровская верфь, Аркульский ССРЗ, Костромской СЗ, Хабаровский СЗ
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. 81210 типа «Ульма» грузоподъемностью 200 тонн	9	Моряковский СРЗ, Улан-Удэнский ССРЗ, Свободненский ССЗ, Усолье-Сибирский РЭУ ВСРП
Сухогрузные баржи-площадки пр. 81108/16ПК грузоподъемностью 1500 тонн	2	Судоверфь ОАО «Порт Коломна»
Сухогрузные баржи-площадки класса «О» пр. 943АУ/02ПК01 грузоподъемностью 1470 тонн	1	Судоверфь ОАО «Порт Коломна»
Сухогрузные баржи-площадки класса «М» пр. 81109/06ПК грузоподъемностью 2500 тонн	1	Судоверфь ОАО «Порт Коломна»
Сухогрузные баржи пр. Р89/09ПК РУзоподъемностью 1500 тонн	1	Судоверфь ОАО «Порт Коломна»
Сухогрузные баржи-площадки класса «О» пр. 4993/Б58 грузоподъемностью 974 тонны	1	Костромской СЗ
Нефтеналивные баржи класса «Р» пр. 4993 грузоподъемностью 870 тонн	3	Костромской СЗ
Нефтеналивные баржи класса «О» пр. 82230 грузоподъемностью 4226 тонн	4	СЗ им III Интернационала, Астрахань
Нефтеналивные баржи класса «О» пр. 82380 типа «НБ-4501» грузоподъемностью 4300 тонн	8	Зеленодольский СЗ, СЗ «Красные Баррикады»
Нефтеналивные баржи класса «О» пр. 1635ТМ* типа «ФНГ» грузоподъемностью 2049 тонн	10	Килийский СЗ
Нефтеналивные баржи класса «О» пр. 1855 типа «БРН» грузоподъемностью 800 тонн	4	Подтесовская РЭБ
Нефтеналивные баржи класса «Р» пр. 81219Н типа «Н-905» грузоподъемностью 880 тонн	1	Тавдинская судоверфь
Нефтеналивные баржи класса «Р» пр. 0034/81212НП типа «БНП» грузоподъемностью 212 тонн	2	Красноярский СЗ

*Продолжение табл. 7*

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Нефтеналивные баржи класса «Р» пр. 81631 грузоподъемностью 1900 тонн	2	Осетровская верфь
Нефтеналивные баржи класса «О» пр. 16800Н1 типа «МН-2800» грузоподъемностью 2850 тонн	1	Осетровская верфь
Нефтеналивные баржи класса «Р» пр. БН-2000 типа «МН-2000» грузоподъемностью 2000 тонн	1	Жатайская РЭБ
Нефтеналивные баржи класса «Р» пр. 72441 типа «БНН-240» грузоподъемностью 240 тонн	1	Жатайская РЭБ
Нефтеналивные баржи класса «Р» пр. 183БМ/ФТМ типа «Азовка» грузоподъемностью 168 тонн	1	Аксайский СРЗ
Нефтеналивные баржи класса «О» пр. JSL716 грузоподъемностью 2200 тонн	3	Цзямусы, Китай
Нефтеналивные баржи класса «Р» пр. JSL702 грузоподъемностью 600 тонн	2	Цзямусы, Китай
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. JSL717 типа «МП 1600» грузоподъемностью 1500 тонн	2	Цзямусы, Китай
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. JSL718 грузоподъемностью 200 тонн	3	Цзямусы, Китай
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. JSL719 грузоподъемностью 1000 тонн	1	Цзямусы, Китай
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. JSL705 грузоподъемностью 1500 тонн	3	Цзямусы, Китай
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. НВС738А грузоподъемностью 1000 тонн	1	Харбин, Китай
Сухогрузная накатная баржа класса «О» пр. 054.1 грузоподъемностью 210 тонн	1	Хабаровск
Сухогрузные баржи-площадки класса «Р» пр. 81104 типа «СК МОСТ» грузоподъемностью 1290 тонн	2	Хабаровск

*Продолжение табл. 7*

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Сухогрузные баржи-площадки класса «О» пр. Р-171А типа «МП-2006» грузоподъемностью 2116 тонн	1	Хабаровск
Нефтеналивная баржа класса «Р» пр. 81462 грузоподъемностью 265 тонн	3	Тюменьсудокомплект
Нефтеналивная баржа класса «М-ПР» пр. ТСК.650 грузоподъемностью 1160 тонн	1	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная накатная баржа класса «Р» пр. ТСК.114 грузоподъемностью 1700 тонн	1	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная накатная баржа класса «О» пр. ТСК.144 грузоподъемностью 300 тонн	1	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная накатная баржа класса «Р» пр. ТСК.39 грузоподъемностью 800 тонн	1	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная накатная баржа класса «О» пр. ТСК.410 грузоподъемностью 200 тонн	1	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная накатная баржа класса «О» пр. ТСК.418	1	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная накатная баржа класса «О» пр. ТСК.77 грузоподъемностью 200 тонн	2	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная накатная баржа класса «Р» пр. 130.05 грузоподъемностью 200 тонн	2	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная накатная баржа класса «Р» пр. 81521А грузоподъемностью 150 тонн	1	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная накатная баржа класса «Р» пр. ТСК.32 грузоподъемностью 100 тонн	1	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная баржа-площадка класса «О» пр. ТСК.80 грузоподъемностью 750 тонн	1	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная баржа-площадка класса «Р» пр. ТСК.411 грузоподъемностью 600 тонн	1	Тюменьсудокомплект
Сухогрузная баржа-площадка с аппарелью класса «О» пр. 29.02С грузоподъемностью 470 тонн	2	Самусьский СЗ

Продолжение табл. 7

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Сухогрузная накатная баржа класса «О» пр. 47.04 грузоподъемностью 200 тонн	2	Самусьский СЗ
Сухогрузная накатная баржа класса «Р» пр. СПА-34492СБ грузоподъемностью 120 тонн	1	Тобольск
Сухогрузная баржа-площадка-контейнеровоз класса «Р» пр. 81212 грузоподъемностью 225 тонн	1	Колпашевская верфь
Сухогрузная накатная баржа класса «Р» пр. 478.12/ПР60 грузоподъемностью 57 тонн	1	Колпашевская верфь
Сухогрузная баржа класса «М-СП» пр. С14290 грузоподъемностью 1970 тонн	2	Николаев
Сухогрузная баржа класса «М-СП» пр. Р169С грузоподъемностью 1200 тонн	1	Лайский СРЗ
Сухогрузная баржа класса «М-СП» пр. ЛД943 грузоподъемностью 684 тонн	1	Лайский СРЗ
Сухогрузная накатная баржа класса «Р» пр. Р4359 грузоподъемностью 96 тонн	1	Лимендский ССРЗ
Сухогрузная бункерная баржа класса «О» пр. Р-85А грузоподъемностью 2500 тонн	1	Чайковская РЭБ
Сухогрузная трюмная баржа класса «О-ПР» пр. 450МК-БК грузоподъемностью 1266 тонн	1	Санкт-Петербург
Грузовой понтон-плашкоут класса «М-ПР» пр. 1270 грузоподъемностью 450 тонн	1	Санкт-Петербург
<b>Буксиры и толкачи</b>		
Буксиры пр. 07521 типа «Карский-1» мощностью 1030 кВт	1	Верхнекамский судостроительный комплекс
Буксиры пр. ТГ04, ТГ04М* мощностью 442 кВт	4	Завод Нижегородский теплоход
Буксиры-толкачи пр. 90608 типа «Дионисий» мощностью 1496 кВт	2 <sup>1</sup>	Завод «Пелла»

<sup>1</sup> Завод «Пелла» является лидером российского судостроения в сегменте морских портовых и эскортных буксиров (построил 34 буксира проекта 90600, 19 буксиров проекта 16609, 2 буксира проекта ПЕ-65)

Продолжение табл. 7

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Буксиры-толкачи пр. 37 типа «Гектор» мощностью 1840 кВт	3 <sup>1</sup>	Костромской СЗ
Буксиры-толкачи пр. ST 376T мощностью 109 кВт	2	Сосновский СЗ
Буксиры пр. 81173НМ, 81173НМ.2 типа «Поморье» мощностью 600 кВт	2	Лимендский ССРЗ
Буксир пр. 503МА класса «М-СП» типа «Гранит» мощностью 852 кВт	2	Лайский СРЗ, Архангельск
Буксир пр. ЛД31 класса «М-СП» типа «Маринеско» мощностью 774 кВт	1	Лайский СРЗ, Архангельск
Буксир пр. ЛД27 класса «М-СП» типа «Шельф» мощностью 516 кВт	1	Лайский СРЗ, Архангельск
Буксир пр. ЛД17 класса «О» типа «Канин» мощностью 221 кВт	2	Лайский СРЗ, Архангельск
Буксир пр. Р4741 класса «О» типа «Дельта» мощностью 220 кВт	1	Ростов-на-Дону
Буксир пр. 90600 класса «М-ПР» типа «Владимир Бельцов» мощностью 1342 кВт	2	Завод «Пелла»
Буксиры-толкачи класса «М» пр. 81 мощностью 1492 кВт	6	Средне-Невский завод
Буксиры-толкачи класса «М» пр. 26ПК типа «Коломенский-1501» мощностью 1500 кВт	1	Судоверфь ОАО «Порт Коломна»
Буксиры-толкачи класса «М» пр. Р103/03ПК типа «Владимир Барсуков» мощностью 496 кВт	1	Судоверфь ОАО «Порт Коломна»
Буксиры-толкачи класса «О» пр. JSL604 типа «Манчжур» мощностью 510 кВт	4	Цзямусы, Китай
Буксиры-толкачи класса «Р» пр. JSL603 мощностью 149 кВт	1	Цзямусы, Китай
Буксиры-толкачи класса «Р» пр. JSL602 типа «Хабар» мощностью 149 кВт	1	Цзямусы, Китай
Буксиры-толкачи класса «Р» пр. НВС622А мощностью 474 кВт	2	Харбин, Китай
Буксиры-толкачи класса «Р» пр. 311 мощностью 258 кВт	1	Харбин, Китай

<sup>1</sup> Костромской СЗ – единственный российский завод, который осуществляет постройку ББС «Волго-Дон макс» класса с «морскими» сцепами. Толкачи пр. 37 являются «самоходной» секцией таких ББС (три сданы).

*Продолжение табл. 7*

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Буксиры-толкачи класса «О» пр. Р45/150 типа «Утес» мощностью 441 кВт	1	Красноярский СЗ
Буксиры-толкачи класса «Р» пр. 81356 типа «Тюменьтрансгаз» мощностью 220 кВт	2	Красноярский СЗ
Буксиры-толкачи класса «Р» пр. НВС 622А мощностью 237 кВт	1	ООО «Судоремонт Сумкин»
Буксир-толкач класса «Р» пр. 81170 типа БТП-600 мощностью 544 кВт	1	Иркутская РЭБ
Буксир класса «Р» пр. 378 типа «65 лет Победы» мощностью 220 кВт	1	Омский ССРЗ
Буксир класса «Р» пр. 090.01 типа «Тюмонец» мощностью 220 кВт	1	Осетровская верфь
Буксир класса «О» пр. ТСК.395 типа «Н. Верещагин» мощностью 600 кВт	1	Тюменьсудокомплект
Буксир-толкач класса «О» пр. ТСК.400	2	Тюменьсудокомплект
Буксир-толкач класса «О» пр. ТСК.215/911В мощностью 320 кВт	1	Тюменьсудокомплект
Буксир-толкач класса «Р» пр. ТСК.300 типа «Северный Урал» мощностью 110 кВт	1	Тюменьсудокомплект
Толкач-завозчик якорей класса «О» пр. 062.04 мощностью 243 кВт	1	Тюменьская экспериментальная верфь
Буксир класса «О» пр. 14701 типа БКТ мощностью 220 кВт	1	СЗ «Вымпел»
Буксирно-разъездной катер класса «Р» пр. ТСК.500/2566 мощностью 110 кВт	2	Тюменьсудокомплект
Примечание. * – Проект Морского Инженерного Бюро		

Источник: Морское Инженерное Бюро

**Построено для работы в Сибири и на Дальнем Востоке 31 судно, на европейском Севере (Архангельск и прилегающие районы) – 8 судов.**

При этом только 11 толкачей с мощностями 1400-1840 кВт предназначены для толкания барж «Волго-Дон макс» класса. Остальные буксиры и толкачи имеют заметно меньшую мощность: в диапазоне 400-600 кВт – 17 единиц, остальные от 250 и меньше.

Таким образом, пока судовладельцы восточных бассейнов предпочитают использовать существующую тягу даже для нового тоннажа. Во-первых, еще достаточно много толкачей есть в наличии, во-вторых, их не касаются новые требования регламента водного транспорта, как на-



пример, нефтеналивных судов, в-третьих, дешевле отремонтировать старое судно, чем построить новый буксир-толкач.

В XXI веке водный транспорт России получил более 200 пассажирских судов, паромов и разъездных судов (см. таблицу 8).

Таблица 8

*Фактическое пополнение речного флота в XXI веке  
пассажирскими и разъездными судами*

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Круизное пассажирское судно класса «М» пр. PV08* типа «Александр Грин» на 112 пассажиров	1	Судоверфь братьев Нобель
Круизное пассажирское судно класса «Р» пр. ПКС-40 типа «Сура» на 40 пассажиров	3	Фирма «ГАМА»
Круизное пассажирское судно класса «М-ПР» пр. РЕГК.002 типа «Русь Великая» на 196 пассажиров	1	Вернекамская строительная компания, Пермь
Пассажирское судно класса «О» пр. 105 типа «Фарман Салманов» на 80 пассажиров	1	Самусьский ССРЗ
Скоростное пассажирское судно пр. А-45, А-45-1 типа «Лена» на 50-150 пассажиров	5	Зеленодольский СЗ
Пассажирское судно класса «О» пр. А-217 для местных линий Архангельска	2	Зеленодольский СЗ
Пассажирское судно класса «Р» пр. НВС 496 для местных линий	6	Харбин, Китай
Пассажирское судно класса «О» пр. 780/043 типа «САПС» для местных линий	1	Красноярский СЗ
Пассажирское прогулочное судно класса «М-ПР» пр. PV01* типа «Империя» на 250 пассажиров	1	Херсонский СРЗ им. Куйбышева
Пассажирское прогулочное судно класса «О» пр. 81080П/Ч типа «Столичный»	1	Московский ССЗ
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. 23020, 23020А типа «Столичный» на 120 пассажиров и его модификации	5	Московский ССЗ
Пассажирское судно класса «О» пр. 23021 (развитие «Столичного»)	2	Московский ССЗ

Продолжение табл. 8

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Пассажирское судно класса «Р» пр. 19.3006 типа «Уникум»	1	Белгородская верфь
Пассажирское судно класса «М» пр. Р-18/224А типа «Империя»	1	Ливинская верфь, Иркутская область
Пассажирское судно класс «Р» пр. Р51/781 типа «Светлояр»	1	РЭБ СК «Ока», Октябрьский
Пассажирское судно класс «О» пр. 623/025 типа «Куприян»	1	Красноярский СЗ
Грузопассажирское судно (паром) класса «М» пр. 603А/709 типа «Ольхонские ворота» 130 т груза	1	Красноярская судовой верфь
Грузопассажирское судно (паром) класса «М» пр. 2707 типа «Таймыр» на 30 пассажиров и 15 т груза	2	Красноярская судовой верфь
Грузопассажирское судно (паром) – катамаран класса «М» пр. 075 типа «Ямал» дедвейтом 75 тонн	1	Экспериментальная судовой верфь, Тюмень
Грузопассажирское судно (паром) класса «О» пр. 2967 типа «Анатолий Чмыхало»	2	Красноярская судовой верфь, Невский ССЗ
Грузопассажирское судно (паром) класса «Р» пр. РЕГК.361221.102 типа «Тобыш» дедвейтом 45 тонн	2	Архангельская (Исакогорская) РЭБ флота
Грузопассажирское судно (паром) класса «Р» пр. 777 типа «Усть-Цильма» дедвейтом 30 тонн	1	Архангельская (Исакогорская) РЭБ флота
Грузопассажирское судно (паром) класса «О» пр. 21100 типа «Шторм» дедвейтом 37 тонн	2	Амурский СЗ
Грузопассажирское судно (паром) класса «Р» пр. ПКР-25Т типа «Автомотор» дедвейтом 25 тонн	1	Окская судовой верфь
Грузопассажирское судно (паром) класса «Р» пр. 97.51 типа «ПК-1» дедвейтом 34 тонны	1	Жатайская РЭБ
Грузопассажирское судно (паром) класса «Р» пр. 81400 типа «Жатайский» дедвейтом 46 тонн	1	Жатайская РЭБ
Грузопассажирское судно (паром) класса «Р» пр. JSL602 типа «Приморец» дедвейтом 415 тонн	1	Цзямусы, Китай
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. RC-TV2008-1 типа «Фердинанд» на 200 пассажиров	5	Турция

Продолжение табл. 8

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. А44212 на 200 пассажиров	5	Рижский СЗ
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. 82500, 82510, 82520, 82544, 82840, 82841 типа «Мойка» на 70 пассажиров	57	Санкт-Петербург
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. Р-118	13	Санкт-Петербург
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. Р-19	2	Санкт-Петербург
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. 82800	4	Санкт-Петербург
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. 2105 и др.	15	Новая Ладога
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» типа «Пальмира» пр. 75	2	Ладожский транспортный завод, Шлиссельбург
Пассажирское прогулочное судно класса «О» пр. МК-2200 типа «Самарская жемчужина»	1	Звенигово
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. АК2507	1	69 судостроительный завод, Тверь
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. 050371К типа «Мария Ермолова»	1	69 судостроительный завод, Тверь
Разъездное судно класса «М» пр. 82480 типа «Одиссей»	4	Жигаловская верфь (Верхне-Ленский район водных путей)
Разъездное судно класса «М» пр. 82760 типа «Иркут»	1	Иркутск
Разъездное судно класса «О» пр. РМ-376 типа «Алтай»	2	Сосновский СЗ
Разъездное судно класса «О-ПР» пр. Н24/А типа «Аэлита»	2	Рыбинская верфь
Разъездное судно класса «О» пр. ST24M2 типа «Забава»	1	Ярославский СЗ
Разъездное судно класса «О» пр. 811СУ56 типа «Ривьера»	1	ООО «Корпусник», Ростов-на-Дону
Разъездное судно класса «М-СП» пр. РV07* типа «Кавказ»	1	Турция
Разъездное судно класса «М-ПР» пр. РV02* типа «Нева»	1	Невский ССЗ
Разъездное судно класса «М-ПР» пр. 780 типа «Балу»	1	Москва

Продолжение табл. 8

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Разъездное судно класса «Р» пр. PV05* типа «Барс»	1	Борремфлот
Разъездное судно класса «М» пр. 265.09 типа «Атаман Ермак»	1	Самусьский ССРЗ
Пассажирское прогулочное судно-банкеттоход класса «Л» пр. PV10* типа «Сочи»	1	Турция
Пассажирское прогулочное судно класса «М-ПР» пр. 82640 типа «Северный принц»	1	Звенигово
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «О» пр. 312.11 типа «СВП-853» дедвейтом 797 тонн	1	Самусьский ССРЗ
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» пр. 307 типа «Верхняя Тойма» дедвейтом 74 тонны	1	СРЗ «Красная Кузница», Архангельск
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» пр. 60СТ.2015 типа «2015» дедвейтом 60 тонн	3	ООО «Сталкер», г. Котлас
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» пр. 21550А дедвейтом 60 тонн	2	Астраханская судовой верфь имени Кирова
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» пр. А-11-550 дедвейтом 40 тонн	1	Ахтубинский ССЗ
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» пр. 608 дедвейтом 80 тонн	3	Завод имени К.Маркса, Астрахань
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» пр. 37.03 типа «Дорожник» дедвейтом 138 тонн	1	Тюменьсудокомплект
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «О» пр. 002/81216-90-31 дедвейтом 258 тонн	1	Красноярский СЗ
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» пр. 0166 дедвейтом 106 тонн	1	Красноярский СЗ
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» пр. РЕГК.100 типа «Паром 2012» дедвейтом 270 тонн	1	Красноярские меллоконструкции

Продолжение табл. 8

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» пр. 6285 типа «СПА» дедвейтом 47 тонн	1	Тобольская РЭБ
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» типа «ПР-60-93» дедвейтом 60 тонн	1	Колпашевская судовой верфь
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» пр. 81210Л типа «МП-400» дедвейтом 113 тонн	1	Осетровский ССРЗ
Несамоходный автомобильно-пассажирский паром класса «Р» пр. 2819-30 типа «Новочеркасск-1» дедвейтом 100 тонн	1	Аксайский СРЗ
Примечание. * – Проект Морского Инженерного Бюро		

Источник: Морское Инженерное Бюро

Таким образом, для обеспечения коммуникационных задач в основном восточных и северных регионов построили 20 пассажирских судов, 33 парома и 21 накатную баржу с аппаратами, которые также часто используют на переправах.

Речной вспомогательный и технический флот также строится (см. таблицу 9). На 15 мая 2015 года сдано 76 обстановочных, 20 водолазных, пожарных и спасательных, 6 экологических судов, 1 речной ледокол и другие суда (всего более 100 единиц). Более половины судов построено по заказам ФКУ «Речводпуть». А всего ФЦП «Развитие транспортной системы» предполагалось строительство около 400 вспомогательных судов для реки.

Таблица 9

*Фактическое пополнение речного флота в XXI веке вспомогательными судами и техфлотом, а также катерами различного назначения*

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Обстановочные суда класса R2-RSN пр. BLV01* типа «Дмитрий Сироткин»	1	Завод Нижегородский теплоход
Обстановочные суда класса «М-СП» пр. BLV02* типа «Ладожский»	2	Завод Нижегородский теплоход
Многофункциональные лоцмейстерские суда класса R2 пр. BLV04 типа «Виктор Кусков»	3 в постройке	Сосновский СЗ

Продолжение табл. 9

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Обстановочные суда класса «М-СП» пр. 16903 типа «Анатолий Жилинский»	1	СЗ «Красная Кузница», Архангельск
Обстановочные суда класса «М» пр. 82420 типа «Первал»	1	Жигаловская судовой верфь
Лощмейстерское судно пр. Damen Shoalbuster 2709 типа «Ирбис»	1	Damen Shipyards
Многофункциональное судно-ледокол класса «М-СП» пр. 2805 типа «Невская Застава»	1	СЗ Алмаз
Обстановочные суда класса «О» пр. SV2407	6	Ярославский СЗ
Обстановочные суда класса «О-ПР» пр. 3052	7	Московский ССЗ, Самусьский ССРЗ, Благовещенский ССЗ
Обстановочные суда класса «О» пр. Р-121	5	Жигаловская судовой верфь
Обстановочные суда класса «О» пр. 81810	1	Жигаловская судовой верфь
Обстановочные суда класса «О» пр. 11005/МО типа «Лев Третьяков»	1	СРЗ «Слип», Астрахань
Обстановочные суда класса «Р» пр. 3050	27	Московский ССЗ, Самусьский ССРЗ
Обстановочные суда класса «Р» пр. 3050.1	12	Московский ССЗ, Самусьский ССРЗ
Обстановочные суда класса «Р» пр. 3215 типа «Жартас»	2	Самусьский ССРЗ
Обстановочные суда класса «Р» пр. 391Б1 типа «Чиж»	5	Каширский СЗ, Колпашевская верфь, Константиновские судоремонтные мастерские
Обстановочные суда класса «Р» пр. 81240 типа «Путейский-156»	2	Жигаловская судовой верфь
Обстановочные суда класса «Р» пр. 82140 типа «Беркут»	1	Омский ССРЗ им. 60-летия Октября
Обстановочные суда класса «Р» пр. ТСК.452	1	Тюменьсудокомплект
Обстановочные суда класса «Р» пр. ТСК.450	1	Тюменьсудокомплект
Плавкран дноочистительный (карчехан) грузоподъемностью 25 тонн класса «Р» пр. ТСК.240	1	Тюменьсудокомплект
Морские водолазные суда пр. SDS08*	4	Ярославский СЗ

Продолжение табл. 9

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Рейдовые водолазные суда пр. А160	10	Завод Нижегородский теплоход
Водолазные суда класса «О» пр. РВ1415М	1	Сосновский СЗ
Водолазные суда класса «О» пр. РВМ-376К	1	Петрозаводск
Суда снабжения пр. DCV47*	4	Сосновский СЗ
Пожарное судно класса «О» пр. 16640 типа «Вьюн»	2	СЗ «Вымпел»
Пожарно - спасательное судно класса «М-СП» пр. 12150М типа «Дмитрий Харченко»	1	СЗ «Вымпел»
Многоцелевое пожарно-спасательное судно класса «О» пр. 04017 типа «Полковник Чернышев»	1	Средне-Невский завод
Судно экологического мониторинга класса «О» пр. 16220НМ типа «Экопатруль»	1	Морской завод «Алмаз»
Судно экологического мониторинга класса «Р» пр. ШСРЗ.008 типа «Московский эколог»	1	Шиморский СЗ
Нефтемусоросборщик класса «Р» пр. 82190 типа «НС-1»	1	Московский ССЗ
Нефтемусоросборщик класса «О» пр. R 2298	3	
Научно-исследовательское судно класса «О-ПР» пр. БМП-74М типа «Платов»	1	Ахтарская судовой верфь
Рефрижераторное судно класса Arg 4 R2-RSN (4,5) пр. ТСК.601 типа «Полярная звезда»	1	Тюменьсудокомплект
Рефрижераторное судно класса «М-СП» типа «Нум»	1	Тюменьсудокомплект
Рефрижераторное судно класса «М» дедеветом 250 тонн пр. ТСК.700	1	Тюменьсудокомплект
Сточная плавучая противопожарная станция класса «Р» пр. 411.13 типа «Витим»	1	Самусьский ССРЗ
Вертолетная площадка класса «Р» пр. РНР01*	1	Невский ССЗ
Самоотвозной дноуглубительный земснаряд с землесосным и грейферным оборудованием типа «Иван Черемисин»	1	Astilleros De Murueta (Испания)

Продолжение табл. 9

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
Самоотвозной трюмный земснаряд с объемом трюма 1000 куб. м типа «Соммерс»	3 в постройке	Завод Красное Сормово
Самоотвозной трюмный земснаряд с объемом трюма 2000 куб. м	1 в постройке	Damen Shipyards Gorinchem (Нидерланды)
Несамостоятельный земснаряд для добычи ОПГС класса «Р» «Геннадий Дuceв» пр. 2618	1	Борремфлот
Несамостоятельный земснаряд для добычи ОПГС класса «О» «ПЗС-5» пр. 81390	1	ООО «ВВВ Яхты», Казань
Несамостоятельный земснаряд для добычи ОПГС класса «О» «Булгар» пр. 81410	1	Чкаловская судостроительная верфь
Несамостоятельный земснаряд для добычи ОПГС класса «О» «Ангара» пр. RDB 66.13	1	Приморско-Ахтарск
Несамостоятельный земснаряд для добычи ОПГС класса «О» «ДФ-5001» пр. RDB 66.09	1	Зеленодольский СЗ
Несамостоятельный земснаряд для добычи ОПГС пр. 3287 (Гидромех-1600Dml)	7	Завод «Гидромех», Рыбинск
Несамостоятельный земснаряд для добычи ОПГС классов «Л» и «Р» пр. Ц480	7	Цимлянский судомеханический завод
Несамостоятельный земснаряд пр. CSD350	1	Damen, Нидерланды
Несамостоятельный земснаряд «Артемий Волинский» пр. ИНС Beaver 65DDSP	1	Нидерланды
Несамостоятельный земснаряд «Сухона» пр. ИНС Beaver 5514С	1	Нидерланды
Несамостоятельный земснаряд «Прибой-601» пр. ИНС Beaver 600	1	Нидерланды
Несамостоятельный земснаряд «Константин» пр. ИНС Beaver 6518С	1	Нидерланды
Несамостоятельный земснаряд типа СГК-81 пр. ЛС-27-40	2	Завод Океан, Николаев
Несамостоятельный земснаряд класса «Р» типа Watermaster Classic III	25	Финляндия
Несамостоятельный земснаряд типа Watermaster Classic IV	2	Финляндия
Плавкран дноочистительный (карчегран) грузоподъемностью 25 тонн класса «Р» пр. ТСК.240	1	Тюменьсудокомплект



Продолжение табл. 9

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
<b>Катера различного назначения</b>		
Многоцелевые катера пр. МРВ-14	6	Московский ССЗ
Рабочие катера с гидрографическим оборудованием типа «Наутилус 800»	3	Скоростные катера (Санкт-Петербург)
Лоцманский катер пр. Boomeranger RIB C-3500	2	Финляндия
Лоцмейстерский катер пр. P1760	2	Завод «Пелла», ОАО «Центр судостроения «Звездочка»
Лоцманский катер пр. P1 22	1	Завод «Пелла»
Лоцмейстерский катер пр. 2780М	2 в постройке	Онежский СЗ
Лоцмейстерский катер пр. 02781	1 в постройке	Гранд (Санкт-Петербург)
Рабочий катер пр. ST23WI	6 в постройке	Онежский СЗ
Рабочий катер пр. WB22MT-1	1 в постройке	Ярославский СЗ
Разъездной катер пр. РТ14МТ	1	Московский ССЗ
Спасательные катера-бонопостановщики пр. А40-2Б	6	Судоверфь братьев Нобель
Лоцманский катер пр. P1760	1	Завод «Пелла»
Мотозавозня класса «Р» пр. ТСК.425	1	Тюменьсудокомплект
Многофункциональные катера проектов 13М, 14М, 15М	26	Озерная верфь
Разъездные катера класса «Р» пр. 82790, 82791	18	Интер Яхт Сервис, Санкт-Петербург
Прогулочные катера (речные такси) класса «Р» пр. 82820, 82822	9	ООО «Астрон Марин», г. Кировск
Пассажирские, разъездные, многофункциональные катера класса «Р» пр. КС-100, КС-101, КС-102, КС-104, КС-110, КС-131, КС-700 в различных модификациях	Около 300	Костромской судомеханический завод
Примечание. * – Проект Морского Инженерного Бюро		

Источник: Морское Инженерное Бюро

Особое следует выделить новые земснаряды, их было поставлено более 50 единиц, однако практически все они являются самоходными землесосами, предназначенными для добычи песчано-гравийных смесей (т.е. классическими «добычными» машинами, а не необходимыми для обеспечения путевых условий судами).

Также было построено более 376 катеров различного назначения.

Основными заводами, которые обеспечивали поставки новых грузовых самоходных судов смешанного река-море и ограниченных морских районов, были нижегородский завод «Красное Сормово» – 88 судов,

навашинская «Окская судоверфь» – 37 судов, Волгоградский судостроительный завод – 33 судна, петрозаводский «Онежский завод» – 18 судов, а также Херсонский судостроительный завод – 16 судов и николаевский завод «Океан» – 9 судов.

Судя по таблице 10, в настоящее время наибольшим реальным потенциалом обладают завод «Красное Сормово» и «Окская судоверфь», а также Невский судостроительно-судоремонтный и Херсонский судостроительный заводы. Можно надеяться, на продолжение работы Онежского завода, который обеспечил в 2005-2010 годах поставку 18 судов, а также Килийского ССРЗ, являющегося традиционным поставщиком несамоходных барж (хронология строительства барж типа «Европа-2Б» по проектам Морского Инженерного Бюро на этом заводе приведена в таблице 11).

К сожалению, практически нет шансов на восстановление Волгоградского завода, построившего в 2000-2010 годах 33 новых судна.

Таблица 10

*Самоходные грузовые суда, построенные на ведущих заводах  
(с разбивкой по годам)*

Заводы	Годы															Все-го	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		2015
Красное Сормово	4	2	4	6	6	5	6	7	7	6	7	9	10	2	4	3	88
Окская						3	2	1	1	1	3	8	8	7		3	37
Волгоградский	2	1	3	4	5	4	3	6	3	1	1						33
Онежский																	8
Херсонский						1	1	2	2	2	1	1	1	4	1		16
Оксан						1	4	4									9
Невский													2	5	1		8
Зеленодольский								1	1					2			4
Судоверфь братьев Нобель					1								2	1			4
Ярославский							1								3		4
Верхне-Камский СК										1				1			2
Дон-Кассенс (Аксай)														1	1		2
Костромской														1	1		2
Лотос															2		2
<b>Итого</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>23</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>229</b>

Источник: Морское Инженерное Бюро

Таблиця 11

*Хронологія строительства барж типа «Европа-2Б»  
Морского Инженерного Бюро (проекты 16350У, 16350МДЛ, RDB06)*

Название	Верфь, строительный номер	Дата закладки	Дата спуска	Дата сдачи
UDP-SL-016	Килийский ССРЗ			1999
UDP-SL-017	Килийский ССРЗ			1999
UDP-SLG-001	Килийский ССРЗ			2001
UDP-SLG-002	Килийский ССРЗ			2001
UDP-SLG-003	Килийский ССРЗ			2001
UDP-SLG-004	Килийский ССРЗ			2001
UDP-SLG-005	Килийский ССРЗ			2001
UDP-SLG-006	Килийский ССРЗ			2002
UDP-SLG-007	Килийский ССРЗ			2002
UDP-SLG-009	Килийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-010	Килийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-013	Килийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-014	Килийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-015	Килийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-016	Килийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-017	Килийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-018	Килийский ССРЗ			2005
UDP-SLG-019	Килийский ССРЗ			2005
UDP-SLG-020	Килийский ССРЗ			2005
DS1863	Килийский ССРЗ, 40D552	30.12.03	24.04.05	29.04.05
DS1864	Килийский ССРЗ, 09752K	09.12.05	07.03.06	20.03.06

При этом в сравнении с 2012-2013 годами темпы строительства танкеров снизились, а строительство сухогрузных судов практически заморожено, хотя до насыщения рынка новыми судами еще далеко.

**Почему? (рассмотрим проблемы на примере нефтеналивного флота, как самого ликвидного)**

**Проблема первая.** Наблюдается избыток тоннажа – из-за медленного ухода с рынка «старых» танкеров (их еще более 300 единиц), в подавляющем большинстве не соответствующих требованиям МАРПОЛ и внутреннего технического Регламента, и падения ставок (в пересчете на доллары) на перевозки на фоне сохранения рублевых тарифов в железнодорожном транспорте, в результате чего часть груза ушла в вагоны.

При этом 151 танкер типа «Волгонепфть» со средним возрастом 41,5 года, 49 «Ленанепфтей» проекта Р-77 (37 лет), 28 однокорпусных нефтерудовозов 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 30 – осуществили подъем второго дна (т.е. выполнили эту конвенцию частично). Нисколько не лучше с другими типами «старых» танкеров (см. таблицу 12).

Таблица 12

*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
<b>Тип Волгонефть</b>	<b>151</b>	<b>41,5</b>	<b>35</b>	<b>5</b>
550, 550А (PPP)	35	37,6	10	
550, 550А (РС)	5	36,6		
558/550	14	46,3	1	
1577 (PPP)	48	42,0	13	
1577 (РС)	10	41,8	5	5
1577/550	25	39,7	4	
558	14	49,3	2	
<b>Тип Ленанефть</b>	<b>86</b>	<b>32,5</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
621 (PPP)	8	29,6		
621 (РС)	21	26,0		
630 (РС)	8	24,3	6	6
P-77 (PPP)	45	37,3	2	2
P-77 (РС)	4	35,0	2	2
<b>Тип Нефтерудовоз</b>	<b>28</b>	<b>34,1</b>		
1570 (РС)	26	33,6		
1570 (PPP)	1	36,0		
1553 (PPP)	1	46,0		
Тип Волжский, 05074	15	31,1		
<b>Тип Волго-Дон</b>	<b>7</b>	<b>40,8</b>	<b>1</b>	
1565	4	46,5		
507А/Б/АТ	3	33,2	1	

**Проблема вторая.** Финансирование (или правильнее сказать, его отсутствие под приемлемый процент и на разумный срок). Ведущие судоходные компании, массово строившие суда в 2010-2013 годах, закредитованы.

Вероятно, следует рассмотреть возможность «точечной» помощи крупным судоходным компаниям, которые уже вложили большие средства в новое судостроение, и поэтому сейчас находятся в сложной финансовой ситуации.

Это позволит сохранить этих судовладельцев на рынке перевозок, создать сильные структуры, способные решать серьёзные задачи, поставленные правительством, по реализации программ обновления флота и перевозок народнохозяйственных грузов.

**Проблема третья.** «Узкие» места внутренних водных путей. Недостаточные глубины по ряду участков. Недогруз работающих судов. Как следствие недогруза, для перевозки заданного количества груза требуется выполнить больше рейсов (по ВДСК, например, в 1,5 раза больше), а чем больше судов на канале, тем больше потери времени в ожидании своей очереди на шлюзование, соответственно длительность кругового рейса судна увеличивается.

Наибольшее падение грузопотока наблюдалось на 40-километровом участке от Городецких шлюзов № 15-16 до г. Балахна, где с июля 2014 года только каждый четвёртый день проходили суда с осадкой в 2,5 м, а в целом обеспечивался пропуск судов с осадкой менее 1,9 м. Это при том, что расчетной осадкой является осадка в 3,60 м.

В 2015 году существенно осложнилась обстановка и в южной части. В связи с прогнозируемой низкой водностью на Нижнем Дону Донское бассейновое водное управление разработало режим работы Цимлянского водохранилища, который обеспечит глубины около 3,00 м.

**Следует понимать, что недогруз танкера «Волго-Дон макс» класса (см. таблицу 13) на 60 см (т.е. вместо осадки 3,60 м – 3,00 м) приводит к потере грузоподъемности в 1150-1370 тонн. По сухогрузам этого же класса – 1180-1320 тонн (см. таблицу 14).**

Были предприняты значительные усилия по устранению «узких» мест, например, запланировано в 2016-2020 годах строительство Нижегородского низконапорного узла, который должен решить проблему Городца, к 2017 году должна быть сдана строящаяся вторая нитка Нижне-Свирского шлюза, готовится техническое задание на строительство низконапорного гидроузла на реке Дон в Багаевском районе.

В результате недостатка глубин часть новых танкеров река-море плавания были выведены из смешанных перевозок в чисто морские перевозки. См. в таблице 15 пример (он-лайн выборка на конкретную дату в июне 2015 года) фактического географического положения танкеров трех новых проектов. Например, 80 % судов с более тяжелыми корпусами (Армады, дедвейт которых при осадке 3,00 м составил 3400 тонн) работали в Каспии и других морях. Для «сверхполного» проекта RST27, наоборот, 80 % судов продолжали работать в режиме река-море перевозок.

Таблиця 13

*Недогруз основных типов танкеров из недостатка глубин*

Осадка в реке, м	Пр.550А «Волгонефть»		RST54 «Балт Флот»		RST27 «ВФ Танкер»		RST22 «Новая Армада»	
	Дед- вейт, т	Потеря дед- вейта, т	Дед- вейт, т	Потеря дед- вейта, т	Дед- вейт, т	Потеря дед- вейта, т	Дед- вейт, т	Потеря дед- вейта, т
	2,20	2259	-2641	2575	-3170	2250	-3170	1740
2,40	2629	-2271	3022	-2723	2697	-2723	2150	-2523
2,60	3002	-1899	3471	-2275	3145	-2275	2562	-2111
2,80	3377	-1524	3921	-1824	3596	-1824	2977	-1696
<b>3,00</b>	<b>3754</b>	<b>-1146</b>	<b>4375</b>	<b>-1370</b>	<b>4050</b>	<b>-1370</b>	<b>3394</b>	<b>-1279</b>
3,20	4134	-766	4831	-914	4506	-914	3817	-856
3,40	4516	-384	5288	-457	4963	-457	4244	-429
<b>3,60</b>	<b>4900</b>	<b>0</b>	<b>5745</b>	<b>0</b>	<b>5420</b>	<b>0</b>	<b>4673</b>	<b>0</b>

Таблиця 14

*Недогруз основных типов сухогрузов из недостатка глубин*

Осадка в реке, м	Пр.1565		RSD44		RSD49		Пр.19610	
	Дед- вейт, т	Потеря дед- вейта, т	Дед- вейт, т	Потеря дед- вейта, т	Дед- вейт, т	Потеря дед- вейта, т	Дед- вейт, т	Потеря дед- вейта, т
	2.20	2434	-2883	2514	-3029	1541	-2966	1186
2.40	2836	-2481	2935	-2608	1958	-2549	1564	-2331
2.60	3240	-2076	3357	-2186	2377	-2130	1945	-1950
2.80	3650	-1667	3784	-1758	2799	-1708	2329	-1566
<b>3.00</b>	<b>4064</b>	<b>-1253</b>	<b>4218</b>	<b>-1324</b>	<b>3223</b>	<b>-1284</b>	<b>2716</b>	<b>-1179</b>
3.20	4480	-836	4657	-885	3649	-858	3106	-789
3.40	4897	-419	5099	-443	4077	-430	3499	-396
<b>3.60</b>	<b>5317</b>	<b>0</b>	<b>5543</b>	<b>0</b>	<b>4507</b>	<b>0</b>	<b>3895</b>	<b>0</b>

Таблиця 15

*Пример фактического географического положения танкеров река-море плавания в связи с недостатком глубин на ВВП (выборка июня 2015 года)*

Проект судна	Общее количество судов	Количество судов в рейсе (по регионам)			Количество судов в ожидании груза
		река-море перевозки	Каспийское море	другие моря	
RST27	29	19	3	3	4
RST25	5	1	3	1	-
005RST0 1, RST22, RST22M	26	3	4	17	2

**«Моральное» старение существующего флота.** Международное право в виде запрета Международной конвенции МАРПОЛ 73/78 с 2008 года не позволяет использовать «однокорпусные» (а к ним относятся и двухкорпусные суда, но имеющие высоту двойного дна или ширину двойного борта меньше требуемой) танкера для морской перевозки тяжелых (плотностью более 0,900 т/куб. м) сортов нефти и нефтепродуктов.

Национальные российские требования в виде Технического Регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта, которые также запрещают (с 1 января 2015 года) на «однокорпусных» танкерах уже речную перевозку опасных грузов (любых, в том числе легких сортов нефти и нефтепродуктов).

**Однако отечественные судовладельцы не имеют своих средств на строительство нового флота смешанного река-море плавания, нет и достаточной залоговой собственности для получения кредита.**

Поэтому по предложению Министерство транспорта Правительством Российской Федерации приняты были следующие поправки к Техническому регламенту (Постановление № 426 от 30 апреля 2015 года):

- с 1 января 2015 года на самоходных нефтеналивных судах грузоподъемностью 600 тонн и более, независимо от даты постройки, перевозящих в качестве груза нефть тяжелых сортов плотностью выше 900 кг/м<sup>3</sup> должны быть предусмотрены двойное дно и двойные борта, простирающиеся по всей длине и высоте грузовых танков, или грузовые танки должны быть вкладными;

- с 1 января 2018 года на нефтеналивных судах, грузоподъемностью 200 тонн и более независимо от даты постройки должны быть предусмотрены двойное дно и двойные борта, простирающиеся по всей длине и высоте грузовых танков, или грузовые танки должны быть вкладными. Необходимая мореходность таких судов в балластных рейсах должна быть обеспечена без принятия балласта в грузовые танки;

- нефтеналивные суда, предназначенные для эксплуатации в водных бассейнах разрядов «О-ПР», «М-ПР» и «М-СП», должны быть оборудованы отстойными танками достаточной емкости для хранения промывочной воды после мойки грузовых танков, если эта операция требуется по условиям перевозки.

Однако есть еще и некая промежуточная группа судов, судовладельцы которых пошли по пути частичного приведения судов к международным требованиям – они модернизировали 35 танкеров типа «Волго-нефть», 10 танкеров типа «Ленанефть» и один «Волго-Дон» путем подъема второго дна (т.е. всего на 46 «старых» судах). Из них 5 «Волгонейфтей» и 10 «Ленанейфтей» (6 для европейской части и 4 для «северного завоза») переоборудованы под МАРПОЛ полностью.

Для судов, на которых международные требования были выполнены частично (размеры второго дна и второго борта соответствуют Правилу 21 Приложения I МК МАРПОЛ 73/78), **протоколом № 1 от 14 мая 2015 года** Департамента государственной политики в области морского и

речного транспорта Министерства транспорта было разрешено в территориальных водах Российской Федерации перевозить нефть и нефтепродукты тяжелых сортов плотностью выше  $900 \text{ кг/м}^3$ .

При этом выдача изъятий от требований МАРПОЛ 73/78, которая осуществлялась Министерством транспорта (протокол № ОВ-29 от 9 декабря 2009 года) в прошедшие годы, была прекращена.

Фактически эти поправки продлили работу существующих судов, обеспечивающих «северный» завоз (перевозка светлых нефтепродуктов) и несамоходных барж (любых нефтегрузов) еще на три года.

При этом (с учетом МАРПОЛовских требований) «Волгонефти», «Ленанефти» проекта 621, переоборудованные «Волжские» и «Волго-Доны» не могут с 1 января 2015 года перевозить мазут и другие темные нефтегрузы в морских районах, а «Ленанефти» проекта Р-77 и нефтерудовозы – еще и по внутренним водным путям. С 1 января 2018 года «Ленанефти» проекта Р-77 и нефтерудовозы, а также иные нефтеналивные суда без второго дна или (и) без второго борта не смогут работать и на «светлых» нефтегрузах.

Таким образом, с правовой точки зрения, существующие суда, имеющие второе дно и вторые борты («Волгонефти», «Ленанефти» проектов 621 и 630, танкеры из «Волго-Донов» и «Волжских»), могут перевозить с выходом в морские районы «светлые» нефтепродукты до 1 января 2018 года, а часть из них – и тяжелые грузы с плотностью  $0,900 \text{ м}^3/\text{т}$  и выше. После этой даты потребуются дооборудование отстойными танками и выполнение иных требований МАРПОЛ.

«Физическое» старение существующего флота. Для сведений средний возраст транспортных судов водного транспорта (на 1 января 2016 года) составил:

- самоходные сухогрузные – 903 ед., средний возраст – 39,7 лет;
  - самоходные наливные – 659 ед., средний возраст – 40,5 лет;
  - пассажирские и грузопассажирские – 1405 ед., средний возраст – 34,2 года;
  - буксиры-толкачи – 4358 ед., средний возраст – 38 лет;
  - несамоходные сухогрузные – 4258 ед., средний возраст – 34,3 года;
  - несамоходные наливные – 695 ед., средний возраст – 32,9 года.
- Аналогично по украинским судам средний возраст 35,0 лет, причем по группам:
- самоходные сухогрузные – 299 ед., средний возраст – 35,5 лет;
  - самоходные наливные – 52 ед., средний возраст – 39,4 года;
  - пассажирские суда – 190 ед., средний возраст – 38,3 года;
  - буксиры-толкачи – 286 ед., средний возраст – 43,5 лет.
  - несамоходные сухогрузные – 596 ед., средний возраст – 28,5 лет;
  - несамоходные наливные – 32 ед., средний возраст – 38,0 лет.



Например, сейчас в работе 151 танкер типа «Волгонефть» со средним возрастом 41,5 года. Конечно, можно привести примеры пассажирских судов на Женевском озере, которым около 100 лет и они благополучно работают. Но ведь совершенно бессмысленно сравнивать ухоженные «белые» суда с «грузовиками». Через три года (к 2018 году) средний возраст «Волгонефтей» достигнет 45 лет, а по ряду проектов перевалит за 50 лет. Следует понимать, что эти суда перевозят опасные грузы через внутренние водные пути, которые проходят через Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Самару, Саратов, Нижний Новгород.

На танкерах типа «Волгонефть», за счет широчайшего применения элементов с толщинами 5-7 мм удалось достичь минимизации массы корпуса и, соответственно, увеличить его грузоподъемность в реке. Однако обратной стороной медали стало заметное снижение эксплуатационного ресурса судна, т.е. длительности безопасной эксплуатации танкера без ремонта.

Построечные толщины танкеров типа «Волгонефть» обеспечивали 20-ти летнюю эксплуатацию судна без ремонта только в классе «М» (т.е. без выхода в море). В классе «М-ПР» значительная часть связей имела ресурс 10-20 лет, а в классе «М-СП» суда могли без ремонта работать не более 5-10 лет.

Исследования риска и надежности серии показали, что катастрофы судов типа «Волгонефть» происходят, как правило, из-за повреждений корпуса – 87,5 %, а из-за пожаров и взрывов всего 12,5 %, что достаточно необычно для танкера.

Таблица 16

*Возрастная структура судов водного транспорта Украины*

Вид флота	Возрастные группы судов					Итого судов
	менее 10 лет	10-20 лет	21-30 лет	31-40 лет	свыше 40 лет	
Распределение судов по возрастным группам						
Самоходные сухогрузные, ед.	16	17	75	132	59	299
Самоходные наливные, ед.	0	1	16	17	18	52
Пассажирские, ед.	1	2	78	54	55	190
Буксиры-толкачи, ед.	7	19	93	74	93	286
Несамоходные сухогрузные, ед.	42	63	348	87	56	596
Несамоходные наливные, ед.	0	5	13	2	12	32
<b>ВСЕГО, ед.</b>	<b>66</b>	<b>107</b>	<b>623</b>	<b>366</b>	<b>293</b>	<b>1455</b>

Продолжение табл. 16

Возрастная структура флота						
Самоходные сухогрузные, %	5,35	5,69	25,08	44,15	19,73	100,0
Самоходные наливные, %	0,00	1,92	30,77	32,69	34,62	100,0
Пассажирские, %	0,53	1,05	41,05	28,42	28,95	100,0
Буксиры, %	2,45	6,64	32,52	25,87	32,52	100,0
Несамоходные сухогрузные, %	7,05	10,57	58,39	14,60	9,40	100,0
Несамоходные наливные, %	0,00	15,63	40,63	6,25	37,50	100,0
<b>ВСЕГО, %</b>	<b>4,54</b>	<b>7,35</b>	<b>42,82</b>	<b>25,15</b>	<b>20,14</b>	<b>100,0</b>

С учетом значительного возраста судов риск становится совершенно неоправданным.

**Любое происшествие может привести к крайне негативным последствиям для всей транспортной отрасли.**

**Поэтому однозначно надо строить новые суда.**

**Как же создавалось новое поколение судов смешанного плавания? Как принципы были положены в основу создания судов XXI века?**

Поэтому уже при создании первого проекта нового поколения «Армада» руководителем группы компаний «Палмали» Мубаризом Мансимовым была поставлена задача создания нового универсального танкера с надежными корпусом и оборудованием, который был бы экономически эффективным в условиях линейной работы на внутренних водных путях России, при ограниченных осадках в Азовском и Каспийском морях (основные маршруты: Волгоград-Керчь и Волгоград или Астрахань-Нека), а также мог бы эксплуатироваться в морских районах Европы, включая переходы через Бискайский залив в зимний период, с минимальными потерями ходового времени.

Суда должны были брать на борт груза в реке примерно столько, сколько знаменитые «Волгонепти»).

**Другими словами, это были суда с примерно равными возможностями как в реке, так в море.**

Концепция этих судов была сформулирована следующим образом: танкер (а потом и сухогруз) с полным использованием габаритов ВДСК, максимально возможным с позиций обеспечения ходкости коэффициентом общей полноты, повышенной грузоместимостью при минимально возможной высоте борта; повышенной управляемостью в стесненных условиях, в шлюзах, каналах и на мелководье; обоснованной эксплуатационной надежностью конструкций судового корпуса при оптимальной металлоемкости последнего.

В связи с подготовкой компании «Лукойл» к добыче нефти на Корчагиновском месторождении в Каспийском море было решено использовать как суда первой, так и второй серии «Армад» в качестве «челночных» танкеров, соответственно, при формировании идеологии концепта «Новая Армада» была усилена именно морская функция судна, при незначительном уменьшении грузоподъемности в реке.

Отличительными принципиальными чертами «Новых Армад» (RST22, RST22M) были:

1. Ориентация не только на формальные требования класса и конвенций, но и на требования фрахтователей и ведущих нефтяных компаний;
2. Повышенный экологический стандарт, превышающий требования MARPOL;
3. Более прочные корпуса;
4. Более мощные двигатели;
5. Современное оборудование, в том числе технологическое;
6. Приспособленность к работе с судами-накопителями;
7. Повышенная грузоподъемность и грузовместимость;
8. Более широкая номенклатура перевозимых грузов, в том числе растительные масла, этиленгликоль и пр.

В итоге, было реализовано следующее:

- в соответствии с предполагаемыми направлениями перевозок и оценкой возможных потерь ходового времени от простоев в ожидании погоды выбрать класс PC R2, который позволяет эксплуатировать судно на переходах вокруг Европы и в Ирландском море, причем танкера второй серии RST22 имеют стандарт прочности, соответствующий требованиям более высокого класса R1 в эксплуатации;

- в соответствии с накопленным опытом работы в Азовском и Каспийском морях принять ледовую категорию Ice1 (проект 005RST01), с учетом применения судов в Балтийском море ледовая категория была доведена до уровня Ice2 (проект RST22);

- за счет роста высоты сечения (применение тронка на танкерах и непрерывных высоких комингсов на сухогрузах) увеличить грузовместимость и снизить расходы в отечественных портах по модулю, обеспечив достаточную для выбранного класса общую продольную прочность без увеличения толщин подавляющего большинства конструкций в сравнении с минимальными толщинами Правил PC;

- довести коэффициент общей полноты до 0,90 (а затем и до рекордных в мировой практике 0,932), обеспечивающий максимальную грузоподъемность на ограниченных осадках (3,40 м в ВДСК и 4,20 м – в п. Нека);

- за счет применения ВРК обеспечить требуемую управляемость и ходкость, увеличить длину грузовой зоны, уменьшить примерно на 20 % размеры МО, сократить затраты на монтаж и предполагаемые затраты на ремонт и обслуживание;

- назначить одинаковые, по возможности, толщины стенок рамного и холостого набора и обшивки для обеспечения равной долговечности по износу (в применении к данному проекту идея получила название «принцип 9 мм»);

- проектировать конструкции борта, днища на восприятие эксплуатационных нагрузок, большинство которых считаются до сих пор «не проектными» (контакты с гидросооружениями, грунтом и т.п.), причем в отличие от принятых ранее схем корпус проекта RST22 был в средней части полностью выполнен по продольной системе набора;

- за счет рационального применения основного и рамного набора обоснованно (обеспечивая требуемую местную прочность и устойчивость) сохранить толщины настилов и обшивок на уровне минимальных;

- исключить набор в грузовых танках (наружный набор верхней палубы и тронка, поперечные переборки с горизонтальными гофрами);

- с целью увеличения фактической усталостной долговечности проектировать «гладкие» конструкций поясков эквивалентного бруса с минимальным количеством технологических вырезов и приварышей, использовать рационально выполненные узлы пересечения связей и плавное изменение площадей продольных связей корпуса по длине;

- за счет рационального распределения балластных и сухих отсеков в двойных бортах и двойном дне получить положительное решение по требованиям Правила 25А МК МАРПОЛ 73/78 и убрать продольную переборку в ДП, снизив тем самым металлоемкость корпуса;

- в связи с новыми международными требованиями перевозки растительных масел проект RST22 был создан с выполнением требований двухотсечной непотопляемости (выдерживает пробоину в любом месте по длине судна).

Затем, по мере строительства этих универсальных танкеров «Волго-Дон макс» класса, со стороны заказчиков возникли дополнительные задачи по охвату других сегментов рынка, специализации, учету условий, в том числе путевых.

Реальный выбор основных элементов судна смешанного река-море плавания **определяется** именно **путевыми условиями**, а также стратегией будущего судовладельца, его позицией на рынке, приверженностью к тем или иным направлениям перевозок и типам грузов. В отличие от сухогрузных судов для танкеров, как правило, наиболее актуальным являются решения, обеспечивающие в заданных условиях **максимальную грузоподъемность**. У сухогрузных судов принялся также выбор размерений по принятой партионности (3000 тонн, 5000 тонн) на заданную осадку.

Анализ подобных альтернатив позволил выстроить параметрический ряд ССП, объективно востребованных отечественными судовладельцами и на его основе разработать в Морском Инженерном Бюро проекты новых судов – концептов XXI века.

В состав данной сетки проектов входят востребованные на современном российском рынке следующие основные классы суда смешанного и внутреннего плавания (причем, как самоходных, так и составных – барже-буксирных составов):

- «Волго-Балт макс» – класс, габаритные размеры которого определяются путевыми условиями Волго-Балтийского водного пути (ВБВП), в основном радиусами поворота и размерами рабочих камер шлюзов ВБВП, и имеет максимально возможную для характеристической в реке осадки 3,60 м грузоподъемность 5000-6000 т. Габариты и повышенная управляемость за счет полноповоротных винто-рулевых колонок и подруливающих устройств позволяют работать по Волге, вплоть до Астрахани;

- «Волго-Дон макс» – класс, который определяется габаритными размерами шлюзов ВДСК и имеет максимально возможную для характеристической в реке осадки 3,60 м грузоподъемность 4200-5500 т (нижнее значение относится к классам РС R1 и ББС, верхнее – к классам РРР «М-ПР 2,5»). Судно «Волго-Дон макс» класса может эксплуатироваться на линиях судов «Волго-Балт макс» класса;

- «ББК макс» – класс, размеры которого определяются путевыми условиями Беломорско-Балтийского канала (ББК) и имеет максимально возможную для характеристической в реке осадки 3,60 м грузоподъемность 2700-3000 т. Предполагает эксплуатацию на линиях, соединяющих речные поры и порт Беломорск через Беломорско-Балтийский канал, с возможностью выхода в Белое море. Судно «ББК макс» класса может эксплуатироваться на линиях судов «Волго-Балт макс» и «Волго-Дон макс» классов;

- «Лена» – класс, габаритные размеры которого определяются путевыми условиями реки Лена, а также путевыми условиями от возможного завода-строителя до выхода в море (например, от волжских верфей через ВБВП).

Главная тенденция сегодня – строительство грузовых судов для европейской части ВВП России, обладающих более развитой речной функцией, а именно:

- судов смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с увеличенной речной грузоподъемностью за счет обоснованного снижения металлоемкости и рационального назначения класса Регистра по району плавания (классы РС R2-RSN 4,5 и РРР М-СП 4,5), например, танкера RST25 для Московского речного пароходства;

- «сверхполных» судов смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с существенно увеличенной речной грузоподъемностью – танкера проекта RST27 и судов, созданных на его базе, в том числе комбинированных и сухогрузных;

- речных судов «устьевского» типа «Волго-Дон макс» класса с пониженным надводным габаритом, позволяющим проходить под мостами на Неве, под ростовским железнодорожным мостом без их разводки, а также по Москве-реке (знаменитый сухогруз проект RSD44, который вызвал так много споров и который, как выяснилось, зарабатывает очень хорошие деньги);

- речных комбинированных танкеров-площадок (танкер и сухогруз одновременно) проекта RST54 «устьевского» типа на базе «сверхполных» обводов проекта RST27 для перевозки на открытой палубе грузов, не боящихся подмочки (гравий, прокат, «тяжелые» контейнеры, автомобили и т.п.), в одном направлении и нефтеналивных грузов в обратном направлении (сдано 4 судна, еще строятся 6 судов);

- комбинированных танкеров-сухогрузов в философии классических нефтерудовозов (налив размещается в танках, сухой груз – в трюме) тоже на базе «сверхполных» обводов для перевозки зерна и других насыпных и генеральных грузов, требующих трюмного «закрытого» размещения;

- сухогрузных судов, имеющих большой длинный трюм для перевозки проектных грузов, что существенно влияет на совокупный экономический результат работы этих судов;

- сухогрузных судов, имеющих большой длинный трюм для перевозки проектных грузов, что существенно влияет на совокупный экономический результат работы этих судов – проекты RSD49, 003RSD04, DCV36;

- составных судов, когда к самоходному нефтеналивному или сухогрузному судну «обычного» типа, но имеющему соответствующую носовую оконечность, сделанную под толкание, добавляется толкаемая им же баржа, например, речных составных мелкосидящих грузовых судов с рабочей осадкой 1,40-2,35 м, выбирающих габариты путей сибирских рек в нефтеналивном (танкер-толкач проекта RT63 плюс наливная баржа проекта ROB21) варианте, а также в комбинированном варианте (танкер-сухогруз-толкач проекта RT63A плюс сухогрузно-наливная баржа проекта ROB21A);

- барже-буксирных составов (ББС), которые при правильной организации перевозочного процесса обеспечивают значительные преимущества по сравнению с «единым» судном.

Принципиальной особенностью этой новой тенденции является «расширение» узких мест внутреннего водного транспорта за счет новых технических решений. Другими словами, происходит увеличение провозоспособности за счет максимального использования фактических путей условий (максимально возможные длина, ширина судна), а главное –

за счет экстремально полных обводов, ранее не применявшихся в мировой практике. Наконец, снижение надводного габарита позволяет снизить потери ходового времени в ожидании разводки мостов в Санкт-Петербурге и Ростове-на-Дону и позволить работать по Москве-реке до Южного порта.

Так, в 2009-2010 годах Бюро (по представленным еще в 2005 году предложениям Виктора Олерского) разработало проект RSD44 сухогрузного судна типа «Герои Сталинграда» и на его базе «устьевого» танкера района «М-ПР» смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с пониженным надводным габаритом – практически без выступающих над палубой тронка частей рулевой и жилой рубки, что позволило бы проходить под мостами в Санкт-Петербурге и Ростове, без их разводки. За счет снижения класса судна по району плавания, удалось снизить массу судна порожнем и увеличить полноту судна, что соответственно увеличило грузоподъемность судна на ограниченных в реке осадках (при осадке 3,60 м дедвейт составляет 5520 тонны). Суда могут эксплуатироваться на внутренних водных путях, в Финском заливе Балтийского моря и в Азовском море до судов-накопителей на дальнем рейде порта Кавказ, поэтому их называют еще «устьевыми». Нелимитированный проход под мостами позволяет экономить до 20 суток ходового времени в сезон. Но при столь малом классе круглогодичная эксплуатация в данном варианте невозможна.

Поэтому, уже в 2011 году на основе результатов работы специальной группы холдинга УТА под руководством Ришата Багаутдинова и, используя полученное Бюро **новое теоретическое решение** о возможности увеличения коэффициента общей полноты, был создан танкер смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса проекта RST27 типа «ВФ танкер» с «сверхполными» обводами с **коэффициентом общей полноты 0,932**. Такой танкер, сохраняя по району плавания класс R2 и возможность круглогодичной эксплуатации танкера типа «Армада», получил существенно увеличенную грузоподъемность в реке – дедвейт при осадке 3,60 м – 5420 тонн, что сделало его равноценным «устьевым» речным судам (при дедвейте в море 7000 тонн, как у универсальных танкеров проектов RST22, RST22M).

В свою очередь концепция комбинированных судов проекта RST54 (проект 2013 года), которые помимо прочего получили «сверхполные» обводы и «устьевой» класс М-ПР 2,5:

- обеспечивает загрузку в обе стороны (нефтеналив – в одну и сухогрузы – в обратную);
- позволяет снизить нагрузку на автодороги за счет перевозки 200-280 легковых автомобилей, которые обычно из района Санкт-Петербурга в центральную Россию везут на грузовиках – автомобилевозах;

- обеспечивает 120 контейнеров с массами до 36 тонн, которые недопустимы для транспортировки автопоездами по условиям максимальной нагрузки на трассах, в том числе до 45 рефрижераторных контейнеров.

На уже строящихся сериях танкеров (RST22M, RST27, RST25) происходит существенное расширение спектра перевозимых наливных грузов, к нефти и нефтепродуктами сначала были добавлены грузы, поступающие под общее название «растительное масло» (а среди них и компоненты биотоплива, и знаменитое сейчас пальмовое масло и т.п.), а затем и другая «легкая» химия, в прочем требующая выполнения нормативов по непотопляемости и оборудованию, а также покрытиям танков к химвозу типа ИМО 2.

Особо следует выделить составные суда и толкаемые составы. Понятно, что главные размеры оптимальных судов внутреннего плавания назначаются максимально приближенными к габаритными ограничениями тех водных путей, для которых они предназначены. Однако, в связи с известной проблемой мелководности, часто нельзя выбрать такие габариты в плане (по длине и ширине) единым корпусом. Действительно, трудно представить себе единое судно длиной, например, от 180 до 280 м при осадке 2,50 м (и соответствующей этой осадке малой высоте борта).

Поэтому обычным инженерным решением являются толкаемые составы и составные суда, т.е. несколько судов, состав из которых отвечает максимальным возможностям пути. Например, если рассматривать перевозки по Дунаю, в 2014 году толкаемыми составами через контрольный пункт Мохач в Венгрии было перевезено около 3,7 млн. т, что составляет 74,7 % от общего объема грузов (в 2013 г. – 74,3 %), из них 2,24 млн. т – вверх, что составляет 83,5 % от всего объема грузов, перевезенных вверх (в 2013 г. – 79,8 %). В среднем в 2014 г. через контрольный пункт Мохач проходило вверх и вниз 45-50 составов в месяц.

**Выводы.** Несмотря на падение числа заказанных судов в краткосрочной перспективе, среднесрочная (начиная с 2017 года) перспектива вполне понятна – строительство новых судов выйдет на уровень 2012-2013 года. Мы все равно будем вынуждены построить эквивалентное существующему флоту количество новых судов.

Понятно, что такие судна не будут повторять существующие, так как уже есть более эффективные решения:

- максимального использования фактических путевых условий (максимально возможные длина, ширина судна);

- экстремально полных обводов, ранее не применявшихся в мировой практике;



- расширения спектра перевозимых грузов – проектные грузы, химия, сочетание сухих и наливных грузов на одном судне (например, в одну сторону – нефтепродукты, в другую – щебень);

- снижения надводного габарита, и, как следствие, сокращения простоев в ожидании разводки;

- эффекта «вертушки», когда на один толкач приходится 2-3 баржи;

- увеличения отдачи от самоходного судна при добавке к нему толкаемой баржи.

Морское Инженерное Бюро разработало такие новые грузовые суда для отечественных ВВП, «расшивающие» узкие места внутреннего водного транспорта и существенно улучшающие свои экономические результаты за счет новых технических решений.

**Судостроители озабочены загрузкой заводов и сохранением набранных темпов производства (что без заказов невозможно). А если не будем строить сейчас, то через 3-5 лет не хватит возможностей верфей (а вполне возможно, что и вообще этих частных верфей просто не будет) быстро заменить совсем старые к тому времени грузовые суда.**

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров А.Г. Концепты сухогрузных судов река-море для Днепра и Дуная // *Порты Украины*. – 2012. – № 9 (121). – С. 14-18.
2. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
3. Егоров Г.В. Актуальное состояние водного транспорта и перспективы речного судостроения // *Вісник ОНМУ*. – Одеса: ОНМУ, 2010. – Вип. 31. – С. 5-22.
4. Егоров Г.В. Отечественное речное судостроение: состояние и перспективы для смежных отраслей промышленности // *Вісник ОНМУ*. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вип. 2(35). – С. 45-60.
5. Егоров Г.В. Анализ законов начала XX века по государственной поддержке отечественного судостроения и судостроительства // *Вісник національного університету кораблебудування*. – Миколаїв: НУК ім. адмирала Макарова, 2012. – Вип. № 2. – С. 62-72.
6. Егоров Г.В., Егорова О.Г. Сухогрузные баржи типа «Европа-2Б» проектов 1635ОУ, 1635ОМДЛ, 1635ОМДЛ-С, RDB06, RDB11 для работы в системе Дунай-Майн-Рейн // *Морской Вестник*. – 2016. – № 1(57). – С. 27-32.

7. *Махек И.И. Анализ особенностей водного транспорта Украины / Сборник докладов междунаучно-практической конференции в честь 80-летнего юбилея профессора В.В. Козлякова. – Одесса: Судостроение и судоремонт, 2010. – С. 137-141.*
8. *Предпосылки создания и концепты нового поколения сухогрузных судов смешанного река-море плавания для Украины / Г.В. Егоров, С.Н. Баскаков, А.Г. Егоров, И.Н. Бойко, В.А. Нильва // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вип. 2(35). – С. 12-44.*

*Стаття надійшла до редакції 17.10.2016*

**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

Г.В. Егоров, И.А. Ильницкий, Я.В. Калугин

### ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПТА КРУИЗНОГО ПАССАЖИРСКОГО СУДНА РЕКА-МОРЕ ПЛАВАНИЯ, В ТОМ ЧИСЛЕ ДЛЯ КАСПИЯ И ЧЕРНОГО МОРЯ

*Обоснован выбор и разработана концепция круизного пассажирского судна река-море плавания, в том числе для Каспия и Черного моря, с учетом требований основного эксплуатанта. Выполнен обзор направлений пассажирских перевозок река-море плавания. Определен наиболее оптимальный вариант пропульсивного комплекса. С учетом современного понятия комфортабельности предложена компоновка судна, соответствующая мировым отельным стандартам.*

**Ключевые слова:** судно смешанного река-море плавания, пассажирское судно, круиз, комфортабельность, пропульсивный комплекс, класс судна, основные характеристики.

*Обґрунтовано вибір і розроблена концепція круїзного пасажирського судна ріка-море плавання, у тому числі для Каспію й Чорного моря, з урахуванням вимог основного експлуатанта. Виконано огляд напрямків пасажирських перевезень ріка-море плавання. Визначено найбільш оптимальний варіант пропульсивного комплексу. З урахуванням сучасного поняття комфортабельності запропоноване конструювання судна, що відповідає світовим готельним стандартам.*

**Ключові слова:** судно змішаного ріка-море плавання, пасажирське судно, круїз, комфортабельність, пропульсивний комплекс, клас судна, основні характеристики.

*The choice is grounded and the concept of cruise passenger river-sea navigation vessel including for the Caspian Sea and the Black Sea with taking into account requirements of main operator is developed. Overview of directions of river-sea passenger traffic is executed. The most optimal option of propulsive complex is defined. With taking into account modern meaning of comfortableness the configuration of vessel conforming to the international hotel standards is offered.*

**Keywords:** river-sea navigation vessel, passenger vessel, cruise, level of comfort, propulsive complex, vessel's class, main characteristics.

**Постановка проблемы.** Существующий морской круизный флот, рассчитан, как правило, на дальние переходы с заходами в морские порты различных прибрежных государств [9]. Главные размерения таких круизных судов (КС) учитывают возможность подхода к акваториям морских портов и швартовки у существующих морских причалов, но не позволяют заходить в устьевые речные порты и, тем более, перемещаться по внутренним водным путям [5; 6].

Существующие отечественные КС не могут эксплуатироваться на международных линиях. При проектировании и строительстве таких судов не выполнялись требования международных конвенций (СОЛАС 74, МАРПОЛ 73/78 и т.д.), что не позволяет получить на такие суда международные свидетельства, подтверждающие возможность эксплуатации и перевозки пассажиров.

Поэтому на рынке морских и речных круизов практически отсутствуют предложения на ранее популярные круизы между портами Черного, Азовского и Балтийского, а также Каспийского морей. При этом отсутствие предложений связано, прежде всего, с отсутствием КС, способных осуществлять такие переходы.

Сегодняшние реалии отечественного туризма таковы, что к любимым речным круизам «въездных» туристов из США, Германии, Австралии, добавились «частично морские» линии, например, Киев-Одесса-Бургас, Несебр (Болгария), Киев-Ялта, «круговой» круиз по Каспийском морю.

Как показывают переговоры Московского речного пароходства (МРП) [3], каспийский круиз привлекает не только граждан прикаспийских стран (Ирана, Азербайджана, Казахстана), но и иностранцев из США, Австралии и Европы, а при организации в международных круизах таких услуг, как казино, рейсы будут интересны, например, китайцам.

Таким образом, задача создания круизных судов смешанного река-море плавания стала актуальной и важной для воднотранспортной и туристической отраслей.

**Целью статьи** является обоснование (на основании исследований 2010-2015 годов, проведенных Морским Инженерным Бюро) концепта RV300VD современного КС смешанного река-море плавания, представляющего интерес для отечественных судоходных компаний. Это судно будет работать на классических речных линиях, а также совершать рейсы из речных портов на морские порты, в том числе круговой рейс по Каспию и рейс Киев-Одесса-Несебр.

**Изложение основного материала.** На данный момент в мировой практике эксплуатации КС, практически отсутствует флот пассажирских судов класса «река-море». То есть, нет судов, способных совместить выполнение и морского, и речного круиза.

Эксплуатация речных КС на линиях с выходом в море распространена в Украине. Круизные компании «Червона Рута» и «Viking River Cruises» используют речные КС, которые работали вдоль побережья Черного моря (см. рисунок 1).



*Рис. 1. Действовавший район эксплуатации круизных пассажирских судов река-море*

Первые круизы в постсоветское время на речных КС с выходом в Черное море стали возможны после выполненной Морским Инженерным Бюро [1] работы по расширению района плавания речного пассажирского судна проекта 302 «Т.Г. Шевченко», в которой было обосновано присвоение судну класса Российского Речного Регистра «М-ПР».

С тех пор и до 2014 года по Днепру с выходом в Черное море вполне успешно эксплуатировались:

- два КС проекта 302 («Генерал Ватутин» и «Звезда Днепра» 1988 года постройки) круизной компании «Червона рута»;

- два КС проекта 301 («Принцесса Днепра» 1976 года постройки и «Михаил Ломоносов» 1979 года постройки круизных компаний «Червона рута» и «Viking River Cruises» соответственно).

К сожалению, сегодня эти рейсы отменены.

Кроме того, круизная компания «Червона рута» в 2012 году купила европейское речное КС «Фиделио» 1995 года постройки и модернизировала его, но класс с выходом в морские районы судно не получило, сейчас судно работает на Дунае.

Исключением является судно проекта PV17 «Викинг Синеус» пассажироместимостью 196 человек компании Viking River Cruises. Является модернизацией судна проекта 301 «Михаил Ломоносов». Работы проводились в межнавигационный период 2013-2014 года с целью увеличения комфортабельности судна за счет значительного увеличения площади кают, ресторанов и общественных помещений.

Первый раз «Викинг Синеус» прибыл в Одессу 12 сентября 2014 года. На борту было 177 пассажиров, в основном граждан Германии. Следующим портом захода этого круиза был порт Галац в Румынии.

Проект PV17 был разработан Морским Инженерным Бюро. Судно предназначалось для перевозки пассажиров на круизных линиях Киев-Херсон-Севастополь-Одесса-Ялта и Киев-Херсон-Одесса-Дунайская Прорва-Бургас (в период с апреля по октябрь).

Класс Регистра Судоходства Украины –  $\dagger$  М-ПР 2,5.

Судно представляет собой четырехпалубный трехвинтовой теплоход габаритной длиной 125,0 м, шириной 16,70 м, с четырехярусной надстройкой по всей длине судна, с кормовым расположением машинного отделения и ходовым мостиком в носовой части, с двойным дном, с наклонным форштевнем и крейсерской кормовой оконечностью.

Для размещения 196 пассажиров предусмотрены 98 двухместных кают, включая:

- четыре апартамента с балконом площадью от 30,1 до 31,6 м<sup>2</sup>;
- две люкс каюты с балконами площадью 24,2 м<sup>2</sup>;
- шестьдесят кают с балконами площадью от 13,5 до 16,0 м<sup>2</sup>;
- тридцать две каюты площадью от 11,1 до 12,9 м<sup>2</sup>.

Блок пассажирских помещений располагается на трех палубах надстройки: главной, верхней и шлюпочной. Все пассажирские каюты оборудованы двуспальными кроватями, душем с туалетом, кондиционером, шкапами, сейфом, телевизором со спутниковыми и внутрисудовыми каналами, феном, беспроводным Интернетом (Wi-Fi), судовой радиотрансляцией, внутренней и внешней телефонной связью.

Каюты на верхней и шлюпочной палубах имеют индивидуальные балконы. Балконы оборудованы сдвижными перегородками, обеспечивающими свободный проход по палубам вдоль всего судна в аварийных ситуациях.

На верхней палубе расположен ресторан, позволяющий в одну смену кормить всех пассажиров, площадью около 350 м<sup>2</sup>, вместимостью 212 посадочных мест, перед рестораном организован вместительный вестибюль с кофестанцией, местом отдыха и общественными туалетами.

В носовой части шлюпочной палубы оборудован обзорный бар площадью около 100 м<sup>2</sup>, вместимостью 55 мест.

На тентовой палубе разместился музыкальный салон с баром площадью около 150 м<sup>2</sup>, вместимостью 100 мест и большая открытая палуба с шезлонгами и тентом.

На главной палубе, в холле размещена стойка регистрации пассажиров, с зоной отдыха и библиотекой.

Кондиционирование, водоснабжение и вентиляция соответствуют представлениям о гостинице 4\*. Пассажирский лифт соединяет все пассажирские палубы теплохода.

В качестве главных двигателей используются три среднеоборотных дизеля мощностью 736 кВт каждый. Движение и управляемость судна обеспечивается тремя винтами фиксированного шага диаметром 1800 мм и пятью рулями. Для прохода узкостей и швартовки к причалу на судне установлено носовое подруливающее устройство.

Электростанция состоит из 4 дизель-генераторов по 432 кВт каждый и аварийного дизель-генератора мощностью 100 кВт.

Экипаж и обслуживающий персонал из 84 человек размещается в одно, двух и трехместных каютах на нижней палубе (в корпусе судна) и на тентовой палубе.

Спасательное устройство состоит из четырех спасательных шлюпок и 46 спасательных надувных сбрасываемых плотов.

Судно соответствует повышенным стандартам экологической безопасности. На судне предусмотрена закрытая система сточных и хозяйственно-бытовых вод. Все сточные и хозяйственно-бытовые воды отводятся в сборные цистерны, также на судне имеется установка обработки сточных вод.

Как сообщает сайт Cruiseinform.ru, с мая 2016 года круизное пассажирское судно река-море плавания проекта PV17 «Викинг Синеус» должно было возобновить круизы по Днепру и Черному морю. Предполагалось, что в ходе путешествия, продолжительность которого составит 10 дней, туристы проплывут по Днепру и Черному морю до Одессы с заходами в Кременчуг, Днепропетровск, Запорожье и Херсон. Однако до сих пор (по состоянию на 1 июля 2016 года) рейсы возобновлены не были.

КС смешанного река-море плавания класса **✠** М-ПР 2,5 «Русь Великая» было построено в 2013 году с использованием элементов существующего судна проекта 588 «Генерал Н.Ф. Ватулин». В мае 2016 года судно совершило круизный 16-дневный рейс Самара-Керчь-Самара, с заходами в Саратов, Волгоград, Ильевку, Романовскую, Ейск, Ростов-на-Дону, Константиновск, Волгоград, Камышин и Хвалынский. Длина судна – 95,6 метров, ширина – 13,5 метра, осадка – 2,45 метра. Пассажировместимость – 196 человек, экипаж – 66 человек.

КС смешанного плавания «Казань» пассажировместимостью 150 человек типа «CEZANNE GLA.» (проект 179-RI) было построено в Италии в 1999 году и предназначалось для круизов по Средиземноморскому бассейну с заходами в реки. Основные характеристики приведены в таблице 1.

Таблиця 1

Основные характеристики судна «Казань»

Размерения судна габаритные, м:	
- длина	126,5
- ширина	11,2
Осадка	2,88
Число палуб	3
Пассажировместимость, чел.	150
Водоизмещение, т	3186
Мощность, л.с.	2 x 1500
Скорость, км/ч	21,3

Источник: [Регистровая книга судов РС]

Судно было продано и переименовано (т/х «Курмангазы»), и с 2009 года работает как плавобщежитие на Каспии.

2 июня 2014 года в Каспийское море вышел 350-местный пассажирский теплоход смешанного река-море плавания класса PPP ☒ О-ПР 2.0 (лед30) А проекта PV18 «Глеб Кржижановский», модернизированный из речного судна проекта 302. Судно сразу было предназначено для использования в качестве плавотеля для работников нефтегазоконденсатного месторождения им. В. Филановского. Месторождение расположено в российском секторе северной части Каспийского моря, на мелководной части в 170 км южнее г. Астрахань, в 20 км восточнее о. Малый Жемчужный в районе, разрешенном для эксплуатации судов река-море плавания класса «О-ПР» в сезон с апреля по ноябрь включительно.

Судно принадлежит МРП и находится в бербоут-чартере у судходной компании Арк Шиппинг. Проект переоборудования PV18 разработан Морским Инженерным Бюро.

Для размещения 350 пассажиров используются 175 кают: 4 одноместные блок каюты; 16 одноместных кают; 143 двухместных кают; 4 трехместных кают; 8 четырехместных кают.

Для отдыха пассажиров предусмотрены столовая на 200 мест, спортзал на 7 мест, две комнаты отдыха с интернет зоной и телевизорами на 39 и 27 мест соответственно.

Имеется также два офиса на 40 и 36 мест.

Для эксплуатации в роли плавотеля, обслуживающего буровые платформы, на судне были установлены:

— в корме на шлюпочной палубе грузовой манипулятор грузоподъемностью 3,15 т при максимальном вылете стрелы 16,54 м и грузовая площадка;



- на тентовой палубе помещения хранения и обслуживания про-  
зодежды;
- рефконтейнеры для увеличений автономности по провизии;
- оборудование опреснения общей производительностью 150 м<sup>3</sup>/  
сутки.

Там же на месторождении им. В. Филановского используется ком-  
панией Арк Шиппинг как плавотель судно проекта 302 «Т.Г. Шевченко».

В 2006 году астраханским туроператором «ГинТур» было приоб-  
рето морское каютное пассажирское судно «Мария Ермолова» для пер-  
вых круизов по Каспию. В сентябре 2007 года судно осуществило экспе-  
риментальный рейс Астрахань – Актау. Рейс был приурочен к междуна-  
родному фестивалю «Каспий – море дружбы». С 2009 года судно «Мария  
Ермолова» работала в качестве плавотеля, в середине 2014 года была  
продана.

В мае 2015 года был организован экспериментальный круиз из  
Самары в казахстанский порт Баутино на КС «Русь Великая» с заходами в  
Саратов, Волгоград, Астрахань.

6 января 2015 года в порт Оля прибыл туркменский грузопасса-  
жирский паром «Беркар». Это был первый рейс нового судна, принятого  
Государственной службой морского и речного транспорта Туркмении  
5 декабря прошлого года. Об открытии паромного сообщения 27 октября  
2014 года была достигнута договорённость между Туркменистаном и  
Россией. Судно доставило из Туркменбаши строительные материалы,  
предназначенные для возведения в селе Фунтово Астраханской области  
туркменской школы, которая призвана стать центром национальной куль-  
туры для проживающей в этом регионе туркменской диаспоры. В здании  
также будет находиться туркменский культурный центр. Планировалось,  
что «Беркар» будет осуществлять регулярные пассажирско-грузовые рей-  
сы из Туркменбаши в порты Баку, Оля, Энзели и Амирабад. В середине  
января 2015 года появилась информация о планах по открытию туристи-  
ческой линии между Россией и Туркменистаном, на которой мог бы рабо-  
тать паром.

Однако до настоящего времени круизы по Каспию так и не осу-  
ществляются.

При этом в СССР был накоплен значительный опыт работы отече-  
ственных морских пассажирских линий, включая каботажные и прибреж-  
ные (см. таблицу 2).

Таблица 2

*Основные пассажирские линии эксплуатации советских пароходств*

Пароходство	Линии	Сезонность
ЧМП	<b>Одесса-Багуми</b>	Круглогодичная
	<b>Одесса-Жданов, Одесса-Херсон, Одесса-Николаев, Одесса-Севастополь, Одесса- Очаков</b>	Сезонная
	Одесса-Александрия	Апрель – Ноябрь
	Одесса-Марсель	Июнь – Сентябрь
	Одесса-лжир	Июнь – Октябрь
СДП	<b>Измаил-Килия-Вилково-Рени-Измаил, Измаил-Одесса-Измаил</b>	Сезонная
	<b>Пассау-Вена-Ялта-Стамбул-Пассау, Измаил- Рени-Галац-Измаил</b>	
КМП*	<b>Баку-Красноводск-Баку</b>	Круглогодичная
ДВМП	Камчатская, Приморская	Круглогодичная
	Приморско-Сахалинская, Северная Курильская, Южная Курильская	Сезонная
	Сахалин-Курилы	Май – Ноябрь
	Находка-Йокогама-Находка	Круглогодичная
	Находка-Йокогама-Гонконг-Находка	Сезонная
КамМП	Петропавловск-Камчатский-Палана, Петропавловск-Камчатский-Пахачи	Сезонная
СХМП**	Холмск-Ванино	Круглогодичная
ММП	Мурманск-Йоканьга	Круглогодичная
	Мурманск-Архангельск, Мурманск-Озерко	Сезонная
СМП	<b>Архангельск-Мезень, Архангельск-Соловки, Архангельск-Нарьян-Мар</b>	Сезонная
ЭМП***	Виртсу-Куйвасту, Рохукюла-Хельтермаа, Рохукюла-остров Вормси, Виртсу-Хельтермаа, Таллин-Хельсинки	Круглогодичная
БМП	Санкт-Петербург-Стокгольм	Круглогодичная
* – Каспийское морское пароходство; ** – Сахалинское морское пароходство; *** – Эстонское морское пароходство		

Источник: [9]

Понятно, что часть этих линий (прибрежные) вполне может обслуживаться судами смешанного река-море плавания.

Кроме того, учитывая значительный интерес иностранных туристов к круизам по Украине и России и «внутренних» туристов к отдыху

на черноморском побережье, в Турции и в Египте, а также в рейсах из Астрахани вокруг Каспийского моря представляется интересным создание КС, которые смогут работать как по ВВП России и Украины (габаритные ограничения шлюзов на Днепре, например, Киевского шлюза, и на Волго-Доне практически совпадают, т.е. «Днепромакс» и «Волго-Дон макс» представляют собой суда одних габаритов), так и по системе Дунай-Майн-Рейн («Дунай макс» класса) и КС, которые смогут работать вдоль побережья Каспийского моря, Турции и по Красному морю.

Работы по созданию концепта PV300VD базировались как на общих подходах к проектированию судов внутреннего и смешанного плавания, так и на основании специальных решений [2-8; 10]. Принципиальную роль играло обсуждение проблем с ведущими специалистами пассажирской отрасли – К.О. Анисимовым, В.Ф. Березиным, А.А. Трофимовым, Д.Г. Рябовым, Д.Н. Галкиным, А.Е. Смолиным, А.А. Семиным, О.Ф. Малининым и многими другими.

Особо следует отметить грандиозную роль успешного опыта, накопленного при создании круизного судна проекта PV08 «Александр Грин» [3] и других проектов, выполненных Морским Инженерным Бюро для Московского речного пароходства, а также опыта проектирования и постройки на Московском судостроительно-судоремонтном заводе круизного судна смешанного река-море плавания проекта PV09 «Княгиня Ольга». Причем все эти работы, как, собственно, и старт строительства концепта PV300VD, являются инициативой руководителя корпорации АЕОН (в которую помимо прочего входят МРП и МССЗ) Р.В. Троценко.

Новое поколение КС река-море плавания для отечественных ВВП, по нашему мнению, будет характеризоваться следующими особенностями:

1. По главным размерениям судов. Определяющим является наличие ограничений путевых условий района эксплуатации судна (глубины, габариты судового хода, размеры гидротехнических сооружений и т.п.) – классы «Днепро макс», «Волго-Балт макс», «Волго-Дон макс», «ББК макс», «Дунай макс».

Главные размерения концептов круизных пассажирских судов выбираются, исходя из данных, представленных в таблице 3. Подробнее см. в работе [5; 6].

Ниже представлена информация о возможности эксплуатации круизных пассажирских судов «Волго-Балт макс», «Днепро макс макс», «ББК макс», «Дунай макс» классов на «непроектных» линиях этих судов (см. таблицу 4).

Таблиця 3

*Сводная информация по главным размерениям КС  
смешанного река-море плавания*

Класс судна	Габаритная длина $L_M$ , м	Габаритная ширина $B_M$ , м	Осадка $d$ , м	Надводный габарит $H_{НГ}$ , м
«Днепро макс»	$\leq 150$	$\leq 17,0$	3,20-3,70	$\leq 14,0$
«Волго-Балт макс»	$\leq 185$	$\leq 16,95-20,1$	2,90-3,80	$\leq 13,2$
«Волго-Дон макс»	$\leq 140$	$\leq 17,0$	3,20-3,70	$\leq 14,0$
«ББК макс»	$\leq 132$	$\leq 13,63$	2,90-3,80	$\leq 11,9$ м*
«Дунай макс»	Дунай до Пассау	$\leq 135$	$\leq 13,40$	$\leq 6,7$
	Выше Пассау**	$\leq 135$	$\leq 11,45$	$\leq 6,03$

\* Если не ожидать разводки моста на 1330,6 км или 24 м, если проходить при разведенном пролете;  
\*\* включая сквозной проход до Северного моря (система Дунай-Майн-Рейн).

Таблиця 4

*Взаимозаменяемость проектируемых круизных  
пассажирских судов класса река-море*

Класс судна	«Волго-Балт макс»	«Днепро макс»	«ББК макс»	«Дунай макс»
1	2	3	4	5
«Волго-Балт макс»	-	Нет возможности эксплуатации на линии судна этого класса из-за ограничивающего фактора в виде длины судна	Нет возможности эксплуатации на линии судна этого класса из-за ограничивающих факторов в виде длины, ширины и надводного габарита судна	Нет возможности эксплуатации на линии судна этого класса из-за ограничивающих факторов в виде длины, ширины, осадки и надводного габарита судна
«Днепро макс»	Есть возможность эксплуатации на линии судна этого класса при условиях: $B_M \leq 16,99$ м и $H_{НГ} \leq 13,2$ м	-	Нет возможности эксплуатации на линии судна этого класса из-за ограничивающих факторов в виде длины, ширины и надводного габарита судна	Нет возможности эксплуатации на линии судна этого класса из-за ограничивающих факторов в виде длины, ширины, осадки и надводного габарита судна

Продолжение табл. 4

«ББК макс»	Есть возможность эксплуатации на линии судна этого класса	Есть возможность эксплуатации на линии судна этого класса	-	Нет возможности эксплуатации на линии судна этого класса из-за ограничивающих факторов в виде осадки и надводного габарита судна
«Дунай макс»	Есть возможность эксплуатации на линии судна этого класса	Есть возможность эксплуатации на линии судна этого класса	Есть возможность эксплуатации на линии судна этого класса при условии $L_M \leq 132$ м	-

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- судно «Волго-Балт макс» класса может эксплуатироваться по Волге и Волго-Балтийскому водному пути с выходом в Балтийское, Северное и Каспийское моря;

- судно «Днепро макс» класса может эксплуатироваться как по реке Днепр, в том числе с проходом Киевского шлюза, по Волго-Донскому судоходному каналу с выходом в Азовское, Черное, Средиземное моря, по Волге с выходом в Каспийское море, так и по Волго-Балтийскому водному пути с выходом в Балтийское и Северное моря (при условии выполнения условий, обозначенных в таблице 3);

- судно «ББК макс» класса может эксплуатироваться как по Беломорско-Балтийскому каналу с выходом в Белое море, так и на линиях судов «Днепро макс», «Волго-Балт макс» и «Волго-Дон макс» классов;

- судно «Дунай макс» класса может эксплуатироваться как по системе Дунай-Майн-Рейн с выходами в Северное, Средиземное, Черное и Азовское моря, так и на линиях судов «Днепро макс», «Волго-Балт макс», «Волго-Дон макс», «ББК макс» (при условии выполнения условий, обозначенных в таблице 3) классов.

Понятно, что каждое из таких концептов будет иметь свои ограничения по численности пассажиров, так как длина и ширина судна, назначенные в соответствии с путевыми условиями, ограничат полезную площадь, которую можно выделить под каюты и под пассажирские вспомогательные помещения (рестораны, салоны и т.п.). Количество палуб определяется надводным габаритом.

Рассматриваемый концепт PV300VD может работать на линии Киев-Одесса-Бургас, Киев-Ялта, Москва-Санкт-Петербург, а также совершать рейсы Астрахань – порты Каспия, т.е. по классификации Морского Инженерного Бюро – это судно «Днепро макс» / «Волго-Дон макс» класса.

2. По архитектурно-конструктивному типу судов [2]:

а) так называемые «плавающие гостиницы» с надстройкой по всей ширине судна без проходов по бортам (с устройством полноценных балконов/террас или «французских» балконов при каютах) – для КС, ориентированных на иностранных туристов. Верхняя «солнечная» палуба оборудуется бассейном и сдвижным тентом от солнца;

б) с прогулочными галереями по бортам на всех палубах, обеспечивающими пассажирам круговой обзор достопримечательностей (такой вариант на новых проектах применяется редко, далеко не каждому туристу приятно наличие случайных людей в непосредственной близости от окна его каюты);

в) с носовым обзорным салоном, также обеспечивающим обзор достопримечательностей с обоих бортов.

Применяется промежуточный вариант (для КС, ориентированных на российских туристов), который представляет собой в той или иной степени сочетание упомянутых выше вариантов. Практически все новые КС, причем как морские, так и речные, за рубежом строятся с максимальным количеством балконов.

Прежние привычные решения по применению в каютах иллюминаторов и судовых окон классического типа входят в противоречие с современными представлениями об обзоре и освещении кают. Поэтому, с точки зрения обеспечения безопасности принципиальным является вопрос об обеспечении реализации вырезов под окна и двери практически от палубы до палубы, что требует решения ряда проблем по прочности узлов крепления, материала окон, обеспечения взаимодействия палуб при минимальных площадях стенок рубок, наконец, водо- и брызгонепроницаемости (в зависимости от палубы).

Итак, принципиальным является возможность кругового обзора, как главной особенности именно речных круизов (либо за счет солнечной палубы, либо за счет носового обзорного салона, либо за счет прогулочных галерей). В отличие от чисто морских путешествий, интерес представляют виды с обоих бортов, тем более обычно речные путешественники берут билеты только в один конец и просто вид из окна (балкона) каюты недостаточен.

Поэтому концепт PV300VD спроектирован Морским Инженерным Бюро в версии «плавающая гостиница» с устройством полноценных балконов/террас, с бассейном и тентом от солнца на верхней «солнечной» палубе, с носовым обзорным салоном.

3. По планировке внутренних помещений судов: модульные принципы формирования, как жилых блоков в целом, так и самих каютных модулей (стандартные каюты) и вертикальное зонирование жилых и общественных помещений (рестораны, салоны и бары размещаются в отдельных вертикальных зонах от жилых помещений, над каютами пассажиров и экипажа не размещаются помещения, в которых может создаваться шум).

Однако далеко не всегда можно удержать вертикальное зонирование именно на судне смешанного река-море плавания, так как в силу известных причин возникает целая палуба – палуба надводного борта, она же главная палуба, где нельзя будет по соображениям безопасности мореплавания сделать балконы и открывавшиеся окна. Соответственно, там наиболее эффективно разместить главный ресторан, рассчитанный на всех пассажиров, и вспомогательные пассажирские помещения, а также некоторую часть кают, которые будут продаваться по наименьшим для данного круиза ценам (т.н. цены «от ...»).

Общая площадь каюты составляет примерно 16-43 м<sup>2</sup>, включая балкон / «французский» балкон (как правило, каюты 2-х местные). Устройство ресторана с числом мест, равным числу пассажиров; конференц-залов, баров, детской комнаты, салона красоты, сувенирного киоска, фитнес-центра, солярия на открытой солнечной палубе. Для людей с ограниченными возможностями – лифты, соединяющие все палубы; коммуникации и туалеты, повышенные габариты проходов, отсутствие препятствий при перемещении в колясках.

Для привычных судов «Волго-Дон макс» класса существующих проектов (пр. 301, 302) численность пассажиров в таких современных каютах составляет 250-300 человек. Для нового концепта PV300VD, имеющего такие же примерно габаритные размеры, комфортно можно разместить примерно 300-350 пассажиров (по сути, за счет отказа от пирамидальных надстроек и перехода к надстройкам и рубкам «чемоданного» типа – может это и дает менее классический боковой вид пассажирского вида, но более прибыльно).

4. При проектировании новых судов однозначно следует исходить из заданного заказчиком уровня комфортабельности в виде количества условных звезд либо коэффициента комфортабельности, который будет служить регулирующим фактором эффективности будущего судна в виде функции определяющей потребные площади палуб и помещений, габаритные размеры судна, его пропульсивные характеристики, и, в итоге, – его экономическую эффективность.

В качестве критерия оценки проектной комфортабельности пассажирских судов [10] можно применить пятизвездочную шкалу, неофициально используемую практически всеми туроператорами. Количество звезд увеличивается в соответствии с повышением уровня качества обслуживания и комфорта.

Особо следует выделить круизные суда повышенной комфортности (по сути, яхты). Часто такие суда вообще не относят к круизным судам в силу значительных отличий в подходах к пассажирской зоне и к ряду специальных вопросов (наличия дополнительных возможностей для водных видов активного отдыха и т.п.).

Однако как бы не комплектовалась пассажирская зона таких судов, они являются платформой для развития, в том числе и для классических круизных перевозок – см. сравнение боковых видов PV09 и PV300VD на рисунке 2, которое наглядно доказывает этот тезис.

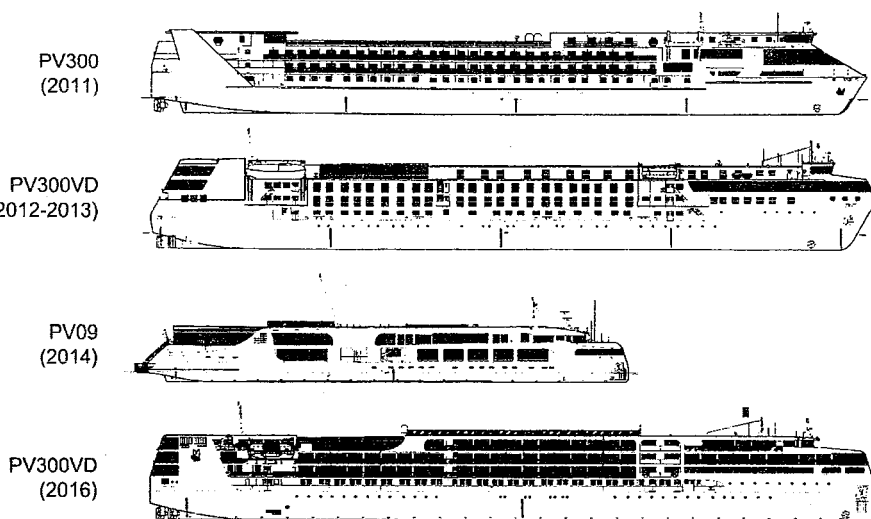


Рис. 2. Сравнение боковых видов концептов PV09 и PV300VD

5. Выбор класса для перспективных круизных пассажирских судов предполагал [4] следующее:

- назначение классов по районам плавания в соответствии с планируемыми направлениями перевозок;
- определение ледовой категории в соответствии с накопленным опытом работы и тенденций к продлению навигационного периода, в том числе зимней эксплуатации;
- задание экономически обоснованного срока службы судна.

Поэтому для концепта «Волго-Дон макс» класса PV300VD с выходом в Каспийское, Азовское, Черное и Средиземное моря назначен двойной класс – Российского Речного Регистра М-СПЗ,5 и Российского морского регистра – R2-RSN (Регистра судоходства Украины R2-RS).

Базируясь на накопленном опыте работы Морского Инженерного Бюро, для судов, предназначенных для работы в Азовском, Черном, Средиземном и Каспийском морях зимой (и/или в Балтийском, Белом и Северном морях летом) предполагается назначить класс ледовых подкреплений РС, РУ (Ice 1) или PPP (Лед 20-Лед 30), а для судов, предназначенных для работы в Балтийском, Белом и Северном морях зимой – РС, РУ (Ice 2) или PPP (Лед 40).



6. Для безопасного и ускоренного процесса эвакуации пассажиров могут быть использованы современные эвакуационные системы, состоящие из рукава и принимающей площадки (иногда посадка пассажиров может осуществляться напрямую на спасательное средство), на которую спускаются пассажиры во время эвакуации и с которой пассажиры перемещаются на спасательные шлюпки и плоты.

7. Экипаж должен формироваться, исходя из автоматизации СЭУ, автоматизации палубных работ (автоматические якорно-швартовные лебедки), автоматизации процесса погрузки припасов и механизации процесса уборки палуб (моечные машинки и т.п.) и с учетом использования совмещения специальностей.

8. Выбор основных элементов речных КС определяется путевыми условиями и стратегией туроператора, его позицией на рынке, приверженностью к тем или иным линиям и уровню комфортабельности [10] с учетом потребностей, склонностей и интересов пассажиров, для которых эти суда, собственно, и создаются.

Такой выбор, при всей его внешней субъективности, должен быть осуществлен из дискретного числа альтернатив, вполне объективно возникших на отечественном туристическом рынке как результат компромисса при выборе путевых ограничений и численности групп туристов (400-500 человек, 250-300 человек, 200-250 человек, 100-150 человек).

Для привычных судов «Днепро макс» / «Волго-Дон макс» класса существующих проектов (пр. 301, 302) такая численность пассажиров составляет 250-300 человек.

Для нового концепта PV300VD, имеющего такие же примерно размеры, комфортно можно разместить также примерно 300-350 пассажиров.

Анализ подобных альтернатив позволил выстроить параметрический ряд круизных судов смешанного и внутреннего плавания, объективно востребованных отечественными судовладельцами и на его основе разработать в МИБ проекты новых судов [3; 5; 6; 7].

Самым привлекательным является концепт PV300VD «Волго-Дон макс» класса (размеры определяются путевыми условиями Волго-Донского судоходного канала, пассажировместимость около 300 человек). Предполагает эксплуатацию на линиях, соединяющих порт Санкт-Петербург и порт Москва, по Волго-Донскому судоходному каналу с выходом в Азовское, Черное, Средиземное моря, по Волге с выходом в Каспийское море, так и по Волго-Балтийскому водному пути с выходом в Балтийское и Северное моря.

Особый интерес для предполагаемой работы проекта PV300VD представляют круизы по Каспийскому морю. По данным лоции северная часть моря мелководна и представляет собой как бы отдельный бассейн, резко отличающийся от Среднего и Южного Каспия. Средняя глубина в северной части около 6 м, а наибольшие глубины, располагающиеся только вдали от берегов, не превышают 20-23 м.

В средней части Каспийского моря наиболее изрезан восточный берег. В него вдаются заливы Александра Бековича-Черкасского и Казахский. Западный берег до Апшеронского полуострова слабо изрезан, а берега Апшеронского полуострова образуют несколько приметных мысов, наиболее значительными из которых являются мысы Амбуранский и Килязинская коса. Средняя часть моря глубоководна. Наибольшая глубина средней части моря более 700 м.

Берега южной части Каспийского моря, за исключением иранского побережья, изрезаны больше, чем берега его средней части. В южный берег Апшеронского полуострова вдается хорошо защищенная от северных ветров бухта Бакинская, а в восточный берег Южного Каспия вдаются Красноводский и Туркменский заливы. Много островов разбросано у восточного берега Апшеронского полуострова (Апшеронский архипелаг). Они расположены на расстоянии до 22 миль от береговой черты. В южной части моря к югу от бухты Бакинская тянется почти на 70 миль вдоль западного берега цепь островов Бакинского архипелага. У восточного берега южной части моря лежит узкий, вытянутый по меридиану, остров Огурчинский. Южная часть моря наиболее глубоководна, особенно южный берег.

Наибольшее расстояние между местами-убежищами составляет:

- вдоль восточного побережья – 112 миль (между Туркменским заливом и Гасан-Кулийским рейдом);
- вдоль южного побережья – 128 миль (между п. Ноушехр и п. Энзели);
- вдоль западного побережья – 92 мили (между Сальянским рейдом и п. Баку).

Как отмечается в Лоции, Каспийское море является довольно бурным, особенно в средней его части. В Северном Каспии развитие волнения ограничивается мелководьем, а с декабря по май – наличием льдов. Поэтому здесь не бывает волн высотой более 4 м. В Среднем и Южном I районах Каспийского моря примерно каждые пять лет высоты волн могут превышать 10 м, повторяемость волнения  $\geq 6$  м составляет 0,1-0,6 %. Наиболее беспокойный район моря – Нефтяные Камни и акватория к северо-западу от них. Здесь высоты волн могут достигать 12 м. Почти во всех районах моря большие волны наблюдаются при ветрах северных направлений, только на северо-западе Среднего Каспия наибольшие высоты волн наблюдаются при южных и юго-западных ветрах. Чаще всего на море отмечается волнение высотой до 2 м.

В таблице 5 представлены наиболее бурной части Каспийского моря значения вероятностей возникновения режимов волнения  $p_h^{\text{доп}}(h_{3\%}^{\text{доп}})$  для допускаемых высот волн 3 % обеспеченности  $h_{3\%}^{\text{доп}}$  по каждому классу судов (6,0; 4,5; 3,5 м соответственно).

*Вероятность режимов волнения для Среднего Каспия  
(наиболее бурная часть моря)*

Район плавания, $h_{3\%}^{\text{доп}}$	$p_h^{\text{доп}}(h_{3\%}^{\text{доп}}), \%$				
	весна	лето	осень	зима	за год
R2-RSN (6,0)	0,3	0,4	0,7	0,7	0,4
R2-RSN (4,5)	1,7	1,1	2,4	2,4	1,8
М-СП (3,5)	4,3	2,7	5,8	5,9	4,7

Для класса с допускаемой высотой волны 6,0 м традиционно принимается  $[p_h^{\text{доп}}(h_{3\%}^{\text{доп}})] = 6 \%$ , для класса с высотой волны 3,5 м  $[p_h^{\text{доп}}(h_{3\%}^{\text{доп}})] = 10 \%$ . По сути, величина  $[p_h^{\text{доп}}(h_{3\%}^{\text{доп}})]$  характеризует допускаемый уровень простоев судна в ожидании погоды.

В итоге, полученные данные свидетельствуют, что по ветро-волновой обстановке в Каспии могут быть допущены к регулярной работе суда с классами М-СП при  $h_{3\%}^{\text{доп}} = 3,5$  м, так как только в 4,7 % режимах волнения наблюдаются волны с высотами волны более 3,5 м.

Клиентская база для круизных судов в Каспии определяется особым географическим транзитным положением великого озера-моря и потребностями прикаспийских стран – России, Азербайджана, Казахстана, Ирана, Туркменистана, имеющими береговую линию 695 км, 955 км, 2320 км, 724 км, 1200 км соответственно. Московское речное пароходство рассматривает ряд возможных линий – см. таблицу 6.

Великий Шёлковый путь, древний Дербент, Баку, Актау, Туркменбаши, Астрахань, Энзели, песчаные пляжи, минеральные воды и лечебные грязи, а также рыболовные базы, базы охотников – все это создает благоприятные возможности для привлечения туристов.

Действительно, во время круиза можно посмотреть в Астрахани уникальный кремль, который был построен в 1620 году, включая его Успенский и Троицкий соборы, стены и ворота, башни, часовни, дома, цейхгауз, Лобное место и Консисторию.

При заходе в Дербент, котором уже более пяти тысяч лет, следует посетить крепость Нарын-Кала, построенную в 6 веке. Эта крепость со стеной, которая когда была длиной около 40 километров, перекрывала проход между Каспием и Кавказом. Крепость 6 века площадью 4,5 гектара была возведена на остатках кладки еще более древней крепости, защищавшей город 5 тыс. лет назад. Огромные стены имеют высоту около 10-12 метров и толщину 3 метра.

Таблиця 6

*Возможные круизные смешанные река-море линии для концепта  
PV300VD с выходом в Каспийское море*

Маршрут	Количество дней
Москва-Казань-Волгоград-Баку-Астрахань-Нижний Новгород-Москва	20 дней
Самара-Астрахань-Баку-Энзели-Волгоград-Ростов-на-Дону-Новороссийск-Сочи	18 дней
Санкт-Петербург-Петрозаводск-Ярославль-Нижний Новгород-Казань-Самара-Волгоград-Астрахань-Баку	14 дней
Москва-Самара-Волгоград-Дербент-Актау-Астрахань	10 дней
Астрахань-Дербент-Баку-Энзели-Туркменбаши-Актау-Астрахань	8 дней
Астрахань-Дербент-Баку-Волгоград	5 дней
Астрахань-Актау-Астрахань	6 дней
Астрахань-Махачкала-Баку-Энзели-Актау-Астрахань-круиз «Каспий море дружбы»	7-9 дней
Астрахань-Махачкала-Баку-Туркменбаши-Актау-Астрахань	6-8 дней
Астрахань-Актау-Баку-Махачкала-Астрахань	8 дней

Источник: МРП

В Баку можно осмотреть старый город с крепостными стенами Ичери-шехер и Девичьей башней, приморский бульвар с фонтанами и попугаями, дворец Ширваншахов, впечатляющий национальный стадион и Олимпийскую деревню, построенные для первых Европейских игр, огромный музей петроглифов под открытым небом в Гобустане, храм огнепоклонников в Атешгях, увидеть ночью Пламенные башни, наконец, просто посидеть в уютных кафешках и ресторанах.

В Актау создается крупнейший развлекательный и туристический центр Актау-Сити площадью в 4 тыс. гектаров. В Мангистау можно посетить музеи с экспонатами, отражающими древнейшую историю края, а всего на территории Мангистауской области сохранилось 11 тыс. исторических и природных объектов, заслуживающих самого пристального внимания, таких как одна из самых глубоких в мире впадин Карагие, ее глубина составляет 132 м от уровня Мирового океана. Есть предположение, что эта впадина является дном древнего солёного озера Батыр, подтверждением чему служат встречающиеся здесь обнажения геологических пластов с многочисленными костями ископаемых рыб.

В Иране, в Бендер Энзели можно посетить дворец Миянпоште (военный музей с коллекцией холодного и огнестрельного оружия, начиная со времен Сефевидов), 28-метровую Часовую башню, морскую пристань, минарет, маяк, Энзелийскую лагуну.

Главное достопримечательностью Туркменбаши является национальная туристическая курортная зона Аваза с искусственной судоходной рекой, яхт-клубом, аттракционами и суперсовременными отелями. Приняты решения о строительстве на авазинском взморье аквапарка с развлекательным центром, океанариума, центра картинга для занятий мини-автоспортом, гольф-центра, супермаркетов, велотрека, дельфинария. Возможны экскурсии в остатки древнего города Мисриан, караван-сарай Ташарват, мавзолей Шир-Кабиб и другие места Дехистана.

Для развития круизного бизнеса в Каспии потребуются создание туристской инфраструктуры и в других центрах круизного туризма на Каспийском море (Астрахань, Волгоград, Дербент, Махачкала, Актау, Энзели и др.); строительство зданий пассажирских терминалов в портах; строительство/реконструкция дорожной сети, обеспечивающей транспортную доступность мест туристической привлекательности; проведение мероприятий по повышению туристической привлекательности архитектурных, культурно-исторических и других достопримечательностей в пунктах круизных маршрутов; создание или оснащение береговой линии для целей развития пляжного туризма; обеспечение мер безопасности туризма.

В Азово-Черноморском бассейне организация морских круизов имеет большую перспективу в виду уже имеющейся туристской инфраструктуры в местах остановок морских круизов, а также возможности совмещения круизного и пляжного отдыха, возможности в короткий срок побывать в других странах черноморского бассейна.

Основными портами для посещения при совершении морских круизов в Азово-Черноморском бассейне были и могут быть Севастополь, Ялта, Новороссийск, Сочи, Одесса, Варна, Констанца, Бургас, Стамбул, Измир, Трабзон, Батуми, Синоп.

Интересно посмотреть, обстановку, например, по порту Сочи. В 2012 году туда зашли 27 круизных судов, в 2013 году – 52 судна с 22 тысячами пассажиров на борту.

В 2013 году во время подготовки XXII Зимних Олимпийских игр там была построена Круизная Гавань с тремя причалами длиной 355, 375 и 165 метров соответственно. Во время игр в новой круизной гавани порта Сочи размещались четыре круизных судна: «Norwegian Jade» длиной 294 метра, «Принцесса Мария» и «Принцесса Анастасия» – длиной по 176 метров, и «Snaw Toscana» длиной 168,5 м. Общая пассажировместимость – около 8 тысяч человек. Кроме того в новую круизную гавань встало учебно-парусное судно «Мир», длиной 108 метров, а к первому причалу Южного мола – барк «Крузенштерн». Высадка всех пассажиров

на берег в период реконструкции порта производилась тендерами (судовыми катерами).

Новый круизный порт в Сочи уже сейчас готов работать как базовый для отправки регулярных круизов, пассажирских судов и паромов по Средиземному и Черному морям. Для этого в городе Сочи созданы все условия – причалы, прекрасный аэропорт, хорошая транспортная составляющая, высококлассные гостиницы. И главное – бренд города, как столицы Олимпийских игр 2014 года, как места проведения этапа Формулы-1 и как одно из мест проведения Чемпионата мира по футболу 2018 года.

Прогноз 2013 года компании «Price Waterhouse Coopers» давал на 2015 год до 180 заходов в Сочи круизных судов, а пассажиропоток (включая туристов) оценивался до 335-500 тысяч человек в год.

В 2014 году предварительно была сделана 81 резервация причалов для круизных судов. В связи с обострением международной обстановки 20 круизных заходов было отменено. В результате общее количество пассажиров в 2014 году составило немногим более 27 тысяч человек.

В 2015 году фактически в Сочи зашло 17 круизных судов с 19 тысячами туристов на борту. Попытки запустить туристические (круизные) линии для «въездного» туризма с использованием судов, зафрахтованных на мировом рынке, которые имели место на Черном море в 2013-2014 годах (теплоходы «Адриана» и «Изабелла-2») успехом не увенчались.

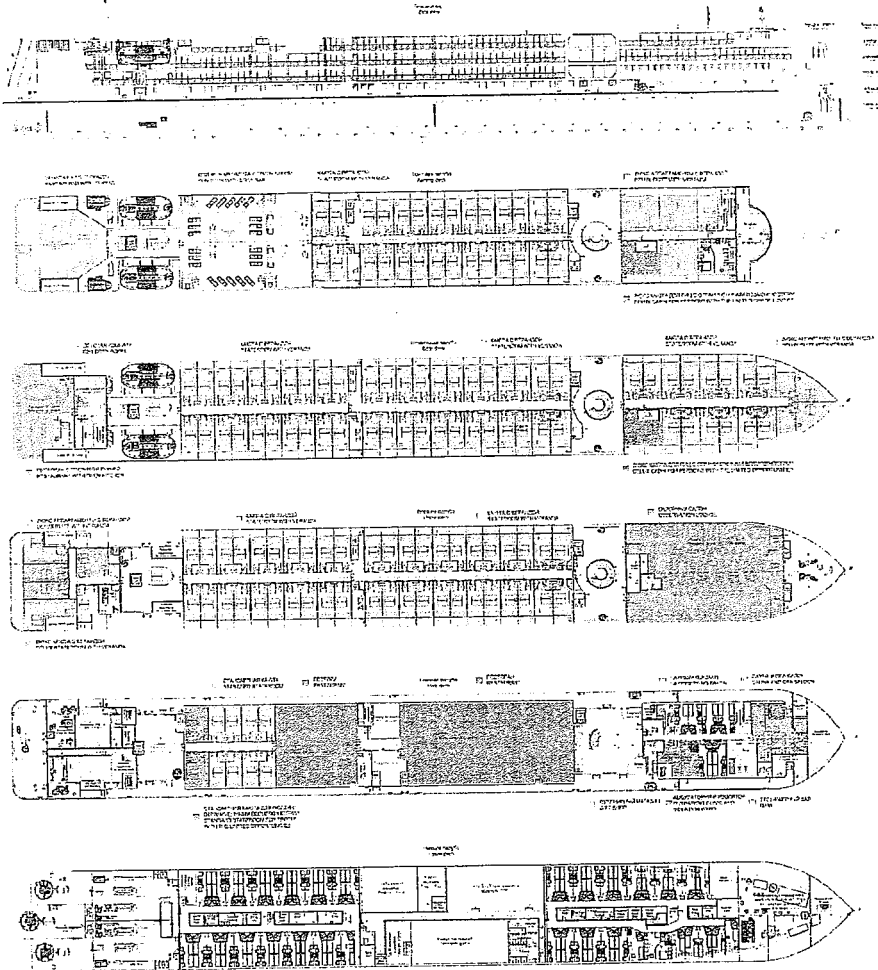
Выпадение из маршрута традиционного для захода круизных судов порта Ялта или потенциального порта захода – Севастополь, приводит круизные компании к невозможности составления расписания морского круиза на уровне признанных мировых стандартов: «День – стоянка круизного судна в порту захода; ночь – переход круизного судна в новый порт захода».

Для обеспечения эффективной коммерческой эксплуатации современному круизному судну необходимо ежедневно заходить в новый порт, осуществляя переход между портами в ночные часы.

Поэтому наиболее реальными по Черному морю будут круизы Москва-Сочи и Киев-Одесса-Бургас-Стамбул (в зависимости от флага судна).

Проект PV300VD представляет собой самоходное смешанного река-море плавания трехвинтовое круизное пассажирское судно – дизель-электроход «Волго-Дон макс» класса с вертикальным форштевнем и транцевой кормовой оконечностью, с избыточным надводным бортом, с надстройкой бака, с четырехъярусной жилой надстройкой по всей длине судна с носовым расположением рулевой рубки, с машинным отделением в кормовой части.

Общее расположение концепта приведено на рисунке 3.



*Рис. 3. Схема общего расположения круизного пассажирского судна проекта PV300VD «Волго-Дон макс» / «Днепр макс» класса смешанного река-море плавания*

Судно имеет следующие основные характеристики:  
длина габаритная – 141 м;  
длина между перпендикулярами – 135,36 м;  
ширина габаритная – 16,82 м;  
ширина расчетная – 16,60 м;  
высота борта – 5,50 м;  
осадка наибольшая – 3,20 м;  
высота габаритная – от ОП 16,25 м;  
экипаж и обслуживающий персонал – 90 чел.;  
автономность по топливу – 15 суток;  
по прочим видам запасов – 10 суток.

Пассажиrowместимость судна может варьироваться от 300 до 400 мест в зависимости от установленных каютных модулей (площадь кают от 16 до 43 м<sup>2</sup>) и использования дополнительных мест для детей.

Базовой была выбрана компоновка круизного пассажирского судна на 310 пассажиров, которые путешествуют в комфортабельных 155 каютах различных классов:

- 7 «люкс» апартаментов с балконом площадью около 36-43 м<sup>2</sup> (33-35 м<sup>2</sup> без учета балкона);

- 3 «люкс» каюты с балконом площадью около 26 м<sup>2</sup> (21 м<sup>2</sup> без учета балкона);

- 2 «люкс» каюты для людей с ограниченными возможностями с балконом площадью около 33 м<sup>2</sup> (27 м<sup>2</sup> без учета балкона);

- 133 стандартных кают с балконом площадью около 19-21 м<sup>2</sup> (16-18 м<sup>2</sup> без учета балкона);

- 8 стандартных кают площадью около 16 м<sup>2</sup>;

- 2 стандартные каюты для людей с ограниченными возможностями площадью около 21 м<sup>2</sup>.

Каюты пассажиров размещаются в средней вертикальной зоне на 4-х ярусах надстройки, каюты на 3-х верхних ярусах имеют собственные балконы со сдвижными секциями для обеспечения сквозного прохода по палубе в аварийных ситуациях.

Все пассажирские каюты оборудованы двуспальными кроватями, душем с туалетом, кондиционером, шкафами, сейфом, телевизором со спутниковыми и внутрисудовыми каналами, феном, электрическими розетками на 220 В и 110 В, беспроводным Интернетом (Wi-Fi), судовой радиотрансляцией, внутренней и внешней телефонной связью.

Для обеспечения отдыха пассажиров на судне использована носовая, средняя и кормовая вертикальные зоны.

В носовой вертикальной зоне размещаются:

- панорамный театрально-музыкальный салон с баром площадью 380 м<sup>2</sup>;

- сувенирный магазин;

- парикмахерская;

- тренажерный зал;

- СПА-салон с сауной, массажным кабинетом и комнатой отдыха с джакузи.

В средней вертикальной зоне размещаются:

- солярий в двух уровнях с гриль-баром;

- главный ресторан площадью 530 м<sup>2</sup>.

В кормовой вертикальной зоне размещаются:

- 24 часа бар/дискотека площадью 170 м<sup>2</sup>;

- ресторан открытой кухни площадью 110 м<sup>2</sup>.

На судне предусмотрено питание всех пассажиров в одну смену. Для этого предусмотрены два ресторана: главный ресторан и ресторан с открытой кухней. Главный ресторан имеет два зала площадью 360 м<sup>2</sup> и



140 м<sup>2</sup>, каждый зал снабжен шведской линией. Большой зал оборудован барной стойкой. В ресторане с открытой кухней есть возможность наблюдать за приготовлением пищи, камбуз отделен от ресторана стеклянной выгородкой. Все рестораны имеют максимальное остекление, что позволяет наслаждаться не только вкусной едой, но и видом из окон.

24 часа бар работает до последнего клиента. Вечером дискотека, днем бар, расположение бара не мешает отдыхать другим пассажирам. Рядом разместилась двухуровневая солнечная палуба с гриль баром, бассейном и четыре джакузи, в плохую погоду часть палубы закрывается при помощи сдвижного тента.

Концепт PV300VD – это не только современное высококомфортное и удобное, но и безопасное, экологически «чистое» пассажирское судно, полностью отвечающее всем Международным конвенциям (МК), включая МК по охране человеческой жизни на море СОЛАС, МК по предотвращению загрязнения с судов МАРПОЛ, Международные правила предупреждения столкновения судов в море МППСС, а также всем национальным требованиям (Санитарным Правилам и нормам, Правилам пожарной безопасности, Техническому регламенту о безопасности объектов внутреннего водного транспорта).

Судно полностью удовлетворяет нормативам СОЛАС и класса по непотопляемости, включая вероятностную оценку деления судна на отсеки, специальным требованиям Российского морского регистра судоходства и Регистра судоходства Украины, предъявляемым к пассажирским судам, всех нормативным требований Правил Российского Речного Регистра. На судне устанавливаются 7 главных водонепроницаемых поперечных переборок, разделяющих корпус на 8 непроницаемых отсеков.

В кормовой части судна установлены две скоростные спасательные шлюпки вместимостью по 150 человек каждая и две дежурные шлюпки.

Для безопасного и ускоренного процесса эвакуации пассажиров и экипажа имеются помимо спасательных шлюпок специальные эвакуационные системы, состоящие из рукава и принимающей площадки, на которую спускаются пассажиры во время эвакуации и с которой пассажиры перемещаются на спасательные шлюпки и плоты. Две такие современные эвакуационные системы с закрытыми надувными самовосстанавливающимися спасательными плотами (4 плотов по 101 человек каждый) установлены с носовым вестибюлем. Ранее такие системы на речных и река-море судах не применялись.

Корпус в средней части судна набран по смешанной системе набора. Главная и верхняя палубы выполняются по продольной системе набора по всей длине. Нижняя, шлюпочная и тентовая палубы выполняются по поперечной системе набора по всей длине. Днище и второе дно выполняются по продольной системе в средней части и поперечной системе набора в оконечностях и в МО. Наружный борт выполняется по

поперечної системі набору по всій довжині. Конструкції оконечностей виконуються по поперечної системі набору.

Конструкція бортов і днища підкріплюється в відповідності з вимогами РРР на ледову категорію «лед 30».

Конструкція палуб судна в районі великих вирізів під атриуми укріплена утолщеними листами і додатковими зв'язями.

Пожаробезопасність нового концепта забезпечується розділенням судна на головні вертикальні зони конструктивними і термічними преградами; відділенням житлових приміщень від інших приміщень судна термічними і конструктивними преградами; виключенням застосування горючих матеріалів; виявленням будь-якого осередку пожеги в зоні його виникнення; обмеженням поширення і тушення пожеги в місцях його виникнення; захистом шляхів евакуації і доступів до них для боротьби з пожегою і готовністю засобів пожеготушення до швидкого застосування.

Двері в протипожежних переборках при підвищенні температури автоматично закриваються. З кожного водонепроникного отсека, розташованого нижче палуби переборки, робляться два максимально віддалені один від одного виходи.

Особливі вимоги пред'явлені при проектуванні до пристрою систем вентиляції судна. Приміщення, знаходячись в різних вертикальних протипожежних зонах, не повідомляються між собою через вентиляційні канали, а самі канали пристроєні так, щоб їх можна було перекривати із зовнішнього вентиляруємих приміщень. Керування вентиляцією здійснюється з двох постів, розташованих на максимальній відстані один від одного.

Крім конструктивних заходів протипожежної захисту виконаний комплекс заходів по обладнанню, житлових, громадських і службових приміщень автоматичними системами виявлення пожеги і автоматичними спринклерними системами в локальних вертикальних протипожежних зонах.

В кормовій частині судна встановлені три повністю поворотні винторульові колонки з винтами фіксованого кроку, з механічною потужністю на входному валу по 1000 кВт кожна. Для покращення управляємості на малих ходах, при проході узкоствій і при швартовках на судні передбачено носове ПУ.

Традиційно в якості пульсуючого комплексу великих російських річкових КС використовується тріхвальні установки. Концепт PV300VD не є винятком. Значення такого рішення абсолютно ясний – необхідний повний крок – працюють три вина, експлуатаційна швидкість в 20 км/год – працюють два вина, швидкість в 12 км/год, обмежена обмеженнями для багатьох ділянок ВВП (канал ім. Москви, річка Свірь і т.п.) – працює один вит.

Применение многовальной установки также вызвано стремлением улучшить маневренные качества судна и повысить пропульсивный КПД при ограниченном диаметре гребного винта за счёт распределения мощности между тремя двигателями и соответствующего снижения их загрузки по упору.

Обычно на российских круизных судах в качестве главных двигателей использовали среднеоборотные дизели с прямой передачей мощности на винт фиксированного шага. К недостаткам традиционных СЭУ следует отнести большую длину валопровода, что увеличивает длину МО и соответственно уменьшает объемы, отводимые для пассажирских помещений и экипажа. Суда обладают плохой управляемостью на малых ходах, что особенно важно в реках, где даже при стоянке на месте скорость судна относительно воды не равна нулю. Кроме того «больным местом» зачастую является дейдвудное устройство из-за эксплуатации в загрязнённых водах на мелководье. Ремонт дейдвудного устройства производится в доке, что требует значительных затрат, а также в случае необходимости непланового ремонта приводит к выводу судна из графика круизов.

Было бы странным повторить такие решения после десятков успешно работающих на реках Армад, ВФ танкеров и других судов с полноповоротными винторулевыми колонками (ВРК).

Как показали специальные исследования, при развороте ВРК на большие углы, обеспечивается лучшая манёвренность судна. По мере снижения скорости движения судна преимущество ВРК возрастает, вплоть до самого малого хода (< 3 уз), когда судно с рулями становится практически неуправляемым, а ВРК позволяют осуществить разворот судна на месте.

Особенно эффективно использование ВРК при эксплуатации судна во внутренних водных путях, когда при прохождении узкостей и многочисленных поворотов реки судно не может двигаться с максимальной скоростью и эффективность рулей падает, что приводит к необходимости ещё больше снижать скорость. При этом судно, оборудованное ВРК, может пройти тот же самый участок пути за меньшее время.

При движении судна на одной ВРК нет потери управляемости и при этом скорость судна падает незначительно до 7,5-8,0 узлов. В экономичном режиме плавания на одной ВРК имеет место значительная экономия топлива.

Закупочная стоимость ВРК приблизительно равна суммарной стоимости редуктора, валопровода, дейдвудного устройства, винта, насадки, рулевой машины и руля.

Кроме того монтаж ВРК проще: нет необходимости в укладке валопровода, при этом может быть использован менее квалифицированный персонал, время монтажа ВРК меньше чем механической трансмиссии. Всё это позволяет сократить расходы на монтаж.

Установка ВРК может быть осуществлена на плаву после спуска судна на воду. Поставка и монтаж оборудования винторулевого комплекса может быть произведён на несколько месяцев позже, что также приводит к экономии средств.

В отличие от традиционного гребного вала и дейдвудного устройства, ремонт и периодическое освидетельствование которых требуют постановки судна в док, демонтаж и монтаж колонки может быть выполнен на плаву. Для серийных судов эффективно может применяться модульный ремонт ВРК без вывода судна из эксплуатации – замена колонки осуществляется во время стоянки судна в течение одного дня.

Поэтому на PV300VD были применены именно ВРК.

Для обеспечения полного контроля над движением судна при маневрировании на малом ходу, швартовых операциях и постановке судна в док предусматривается установка системы управления судном, которая связывает все движители судна (винты, ВРК и подруливающие устройства) в единый модуль и при этом управление всеми этими движителями осуществляется при помощи одного джойстика.

Главная энергетическая установка – дизель-электрическая, состоящая из четырёх главных дизель-генераторов (ГДГ) переменного тока 690 В, 50 Гц электрической мощностью по 1140 экВт каждый, питающих гребную электрическую установку (ГЭУ) и остальные потребители.

Для круизного пассажирского судна, у которого потребности пассажирской части в энергии соизмеримы с потребностями в энергии для движения, применение электродвижения обеспечивает значительные преимущества при постройке и, в особенности, при эксплуатации. Электродвижение позволило при постройке исключить один дизель-генератор по мощности и сократить в целом количество дизелей – установлено 4 главных дизель-генератора вместо 3 главных двигателей и 3 дизель-генераторов.

Во время нормальной эксплуатации два главных дизель-генератора обеспечивают энергией гребные электродвигатели и остальные судовые потребители. Третий дизель-генератор находится в резерве или работает при ходе с увеличенной скоростью либо при плохих погодных условиях. На четвертом дизель-генераторе можно проводить техническое обслуживание.

Дизель-электрическая СЭУ обеспечивает более высокую экономичность на малых и средних ходах, а также во время рейсов судна с частыми остановками и маневрами. Электрическая передача позволяет заменять гребные винты с наилучшим коэффициентом полезного действия и использовать первичные двигатели в наиболее экономичном режиме, так как между первичным двигателем и винтом может быть выбрано практически любое передаточное число.

Вспомогательная установка включает в себя:

- аварийный дизель-генератор электрической мощностью 214 кВт;

- вспомогательную котельную установку в составе двух термальных котлов теплопроизводительностью 800 кВт каждый работающих на жидком топливе, четырёх термальных утилизационных котлов теплопроизводительностью по 250 кВт каждый.

В качестве топлива применяется тяжелое топливо ІГО380 вязкостью 380 сСт при 50 °С с температурой вспышки более 60 °С. Для аварийного дизель-генератора применяется дизельное топливо МДО с температурой вспышки более 60 °С.

Для перемещения пассажиров между палубами предусмотрены пассажирские лифты вместимостью 6 человек (по одному в носовом и кормовом вестибюлях). Для перемещения грузов между камбузом и рестораном предусмотрено 2 грузовых лифта. Грузовой лифт предусмотрен из прачечного комплекса на нижней палубе и соединяет все палубы судна.

Каюта капитана расположена на тентовой палубе рядом с рулевой рубкой. Размещение остальных 89 членов экипажа предусмотрено в носовой вертикальной зоне на главной палубе и в корпусе в средней (жилой) вертикальной зоне. Для экипажа и обслуживающего персонала предусмотрены все необходимые помещения, требуемые санитарными Правилами также предусмотрен блок помещений сауны. В состав экипажа входят 10 человек комсостава (включая директора круиза и врача), 10 человек палубной и машинной команды и 70 человек обслуживающего персонала (отельный и ресторанный).

**Выводы.** Самым серьезным сдерживающим фактором роста индустрии круизного туризма является отсутствие современных круизных судов. При этом в Азово-Черноморском и Каспийском бассейнах отсутствуют не только круизные суда, но и крупные судоходные компании (операторы), занимающиеся пассажирским круизным бизнесом, которые могли бы стать организаторами и заказчиками строительства новых судов.

Средний возраст судов составляет 42 года, при этом половине из 90 существующих судов уже за 50-60 лет. В ближайшее десятилетие этот флот, скорее всего, будет списан, и у нас останется всего порядка 40 судов.

Для решения задачи обновления предлагается связать морские и речные маршруты на основе современного круизного судна река-море плавания проекта PV300VD.

Это дизель-электроход, где три четверти кают имеют индивидуальные балконы, площадь кают – 19-21 м<sup>2</sup>, что соответствует всем стандартам современной круизной и гостиничной индустрии. Имеются все виды необходимого отдыха (рестораны, спа-центры, тренажеры, бары и т.д.), в разработке судна принимали участие все ведущие круизные компании, поэтому оно полностью отвечает их потребностям.

Концепт PV300VD – безопасное, экологически «чистое» пассажирское судно, полностью отвечающее всем Международным конвенциям (МК), включая МК по охране человеческой жизни на море СОЛАС, МК по предотвращению загрязнения с судов МАРПОЛ, Международные правила предупреждения столкновения судов в море МППСС, а также всем национальным требованиям (Санитарным Правилам и нормам, Правилам пожарной безопасности, Техническому регламенту о безопасности объектов внутреннего водного транспорта).

Это судно будет работать на классических речных линиях, а также совершать рейсы из речных портов на морские порты, в том числе круговой рейс по Каспию и рейс Киев-Одесса-Несебр-Стамбул.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров Г.В. *Риск-ориентированные подходы к обоснованию отступлений от нормативных требований для судов ограниченных районов плавания // Проблемы техники. – 2005. – № 3. – С. 3-13.*
2. Егоров Г.В. *Анализ опыта европейских речных круизов и его влияние на новое поколение отечественных пассажирских судов // Морской вестник. – 2012. – № 3 (43). – С. 23-28.*
3. Егоров Г.В., Анисимов К.О. *Трехпалубное круизное судно «Александр Грин» пр. PV08 // Судостроение и судоремонт. – 2012. – № 53. – С. 22-33.*
4. Егоров Г.В., Егоров А.Г. *Исследование надежности и риска эксплуатации отечественных речных круизных пассажирских судов // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2015. – Вип. 1 (43). – С. 5-31.*
5. Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Калугин Я.В. *Принципы проектирования корпусов круизных пассажирских судов для европейской части ВВП России // Труды НТК по СМК памяти акад. Ю.А. Шиманского. – СПб: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2011. – С. 30-31.*
6. Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Калугин Я.В. *«Линейка» круизных пассажирских судов для внутренних водных путей // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2013. – Вип. 2 (38). – С. 20-40.*
7. Егоров Г.В., Калугин Я.В. *Создание новых пассажирских судов с учетом опыта европейских речных круизов // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2013. – № 1. – С. 4-10.*
8. Егоров Г.В., Калугин Я.В., Егоров А.Г. *Анализ состояния речного пассажирского флота России // Проблемы техники. – 2012. – № 4. – С. 6-39.*

9. *Морские пассажирские суда* / Ю.А. Будницкий, Г.П. Пилипенко, А.Г. Чукавин, В.С. Петухов. – Л.: Судостроение, 1989. – 224 с.
10. Семин А.А. Влияние комфортабельности на выбор главных размерений пассажирских круизных судов внутреннего и смешанного плавания // *Вісник ОНМУ*. – Одесса: ОНМУ, 2005. – Вып. 17. – С. 39-45.

*Стаття надійшла до редакції 17.10.2016*

**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 629.12:532.059

Н.В. Ефремова, Е.Ю. Федорова

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА  
ДЕФОРМИРУЕМЫХ КООРДИНАТ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОТЕНЦИАЛА  
СКОРОСТЕЙ ПРОГРЕССИВНОГО ВОЛНЕНИЯ КОНЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ  
НА ГЛУБОКОЙ ВОДЕ И МЕЛКОВОДЬЕ**

*Надано визначення функцій, які перетворюють фізичний простір (об'єм, що займає вода) в умовний деформований простір на глибокій воді та мелководді. За допомогою цих функцій виконуються наближені рішення гідродинамічних задач про потенціал швидкостей хвилювання кінцевої амплітуди при довільній глибині акваторії.*

**Ключові слова:** мелководдя, глибока вода, нелінійна теорія хвилювання, потенціал швидкостей, метод деформованих координат.

*Представлено определение функций, преобразующих физическое пространство (объем, занятый водой) в условное деформированное пространство на глубокой воде и мелководье. С помощью этих функций выполняются приближенные решения гидродинамических задач о потенциале скоростей волнения конечной амплитуды при произвольной глубине акватории.*

**Ключевые слова:** мелководье, глубокая вода, нелинейная теория волн, потенциал скоростей, метод деформируемых координат.

*Definition of functions that transform physical space (volume occupied by water) into conventional deformed space in deep and shallow water is introduced. The approximate solution of the hydrodynamic problems concerning velocity potential of the finite amplitude waves at the arbitrary water depth is carried out with help of these functions.*

**Keywords:** shallow water, deep water, non-linear wave theory, velocity potential, deformed coordinates method.

**Введение.** Геополитическое положение Украины и наличие на ее территории большого количества морских портов позволяют нашей стране получать доходы от эксплуатации водного транспорта. При этом вопросы безопасной эксплуатации всех элементов морехозяйственного комплекса (судов, средств освоения шельфа, портовых и берегозащитных сооружений) невозможно решать без информации о характеристиках волнения. Корректное определение этих характеристик осложняется нестационарностью области, занятой жидкостью и нелинейностью граничного условия на свободной поверхности жидкости, требуется конкретизация задачи и специализация граничных условий.

© Ефремова Н.В., Федорова Е.Ю., 2016



Большое количество работ отечественных и многочисленных зарубежных авторов в области гидродинамики морских волн и судов посвящены определению характеристик волнения конечной амплитуды. Основные результаты получены в рамках потенциальной теории. Переход от линейных теорий и соотношений к нелинейным целесообразен для ветровых волн предельной крутизны на глубокой воде, для длинных волн на значительном мелководье и в зоне разрушения волн.

Нелинейные модели ветровых волн в шторме и нелинейные гидромеханические нагрузки на корпус судна рассмотрены в работе [1]. Поведение судна на сильном и экстремальном волнении изучается в работе [2] с учетом переменной смоченной поверхности и взаимосвязи колебаний.

Наборы статистик по волнению, как экстремальные, предназначенные для режима выживания плавучего объекта, так и оперативные (повторяемость высот волн, повторяемость периодов волн, совместная повторяемость высот и периодов волн, характеристика волн зыби, орбитальные скорости волн), приведены в работе [3].

Существует большое количество нелинейных теорий волн. Наиболее распространена теория Стокса – разложение уравнения волнового профиля в ряд и определение коэффициентов разложения из условий, удовлетворяющих уравнениям гидродинамики для волн конечной амплитуды. В инженерных приложениях используются разложения, как правило, до пятого порядка (например, [4; 5]), однако существуют [3] решения до одиннадцатого порядка. Теория функций тока (stream function) дает возможность точно удовлетворить кинематическому граничному условию и свести к минимуму ошибки в динамическом граничном условии. Следует отметить также применение так называемой новой волновой теории [3], которая позволяет получить линейное приближение к наиболее вероятной форме максимальной волны в шторме.

Перечисленные выше волновые теории при всех несомненных достоинствах имеют общий недостаток – довольно сложные и громоздкие выражения. Это обстоятельство, а также тот факт, что волны достигают предельной крутизны достаточно редко, приводит к тому, что для инженерных расчетов чаще всего используются результаты линейной теории волновых движений.

Поэтому описание метода, позволяющего получить компактное приближенное решение нелинейной краевой задачи для потенциала скоростей прогрессивных волн конечной амплитуды в жидкости произвольной глубины представляется весьма актуальным.

В работах [6; 7] приведены приближенные решения задач о свободных прогрессивных волнах конечной амплитуды, полученные с помощью метода деформируемых координат. Ограниченность объема указанных работ не позволило описать метод подробно, что затрудняет возможность его использования при решении других гидродинамических задач.

**Цель работы** – изложение процедуры применения метода деформируемых координат к определению потенциала скоростей волнения конечной амплитуды в условиях глубокой воды и мелководья.

**Изложение основного материала исследования.** Рассмотрим плоские поверхностные гравитационные волны в невязкой жидкости произвольной глубины, ограниченной свободной поверхностью [6; 7]. Начало неподвижной декартовой системы координат совместим со свободной поверхностью, ось  $z_1$  направим вертикально вверх, а ось  $x_1$  вправо. Будем считать волновое движение потенциальным.

Пусть  $E$  – область, занятая жидкостью. В принятой системе координат потенциал возмущенных скоростей жидкости  $\varphi(x_1, z_1, t)$  в условиях глубокой воды должен удовлетворять следующей дифференциальной системе [8], состоящей из уравнения Лапласа (1), граничных условий на свободной поверхности (2) и (3), условия затухания волнового движения на глубине (4)

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial z_1^2} \right) \varphi(x_1, z_1, t) = 0, \quad (x_1, z_1) \in E; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \varphi(x_1, z_g, t)}{\partial z_1} = \frac{\partial z_g(x_1, t)}{\partial x_1} \cdot \frac{\partial \varphi(x_1, z_g, t)}{\partial x_1} + \frac{\partial z_g(x_1, t)}{\partial t}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \varphi(x_1, z_g, t)}{\partial t} + \frac{1}{2} \left\{ \left[ \frac{\partial \varphi(x_1, z_g, t)}{\partial x_1} \right]^2 + \left[ \frac{\partial \varphi(x_1, z_g, t)}{\partial z_1} \right]^2 \right\} + g z_g(x_1, t) = 0; \quad (3)$$

$$\lim_{z_1 \rightarrow -\infty} \text{grad} \varphi(x_1, z_1, t) = 0. \quad (4)$$

Здесь  $z_g = z_g(x_1, t)$  – уравнение свободной поверхности взволнованной жидкости.

Система (1)-(4) дополняется условием периодичности

$$\varphi(x_1 - c \cdot t, z_1) = \varphi(x, z); \quad z_g(x_1 - c \cdot t) = z_g(x), \quad (5)$$

где  $c$  – скорость бега волн.

Для мелководной акватории постоянной глубины  $h$  вместо условия (4) принимается условие на дне водоема

$$\frac{\partial}{\partial z_1} \varphi(x_1, z_1 = -h, t) = 0, \quad -\infty < x_1 < \infty. \quad (6)$$

Как это принято в большинстве исследований волнения конечной амплитуды, введем подвижную декартову систему координат  $(x, z)$ , которая при  $t = 0$  совпадает с неподвижной и равномерно перемещается в сторону бега волн со скоростью  $c$ . Потенциал скорости и профиль волны периодичны с периодом  $\lambda$ .

Перейдем к безразмерным характеристикам

$$\tilde{x} = k(x_1 - c \cdot t); \quad \tilde{z} = k \cdot z_1; \quad H = kh; \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}; \quad (7)$$

$$\varphi(x_1 - c \cdot t, z_1) = \frac{c}{k} \tilde{\Phi}(x, z); \quad z_s(x_1 - c \cdot t) = \frac{1}{k} \tilde{\zeta}_s(x).$$

В дальнейшем изложении знак « $\sim$ » над безразмерными координатами и функциями опустим.

Обозначим  $\tilde{E}$  – часть нормированного пространства, занятую жидкостью. Потенциал  $\Phi(x, z)$  должен удовлетворять следующей дифференциальной системе:

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \Phi(x, z) = 0, \quad (x, z) \in \tilde{E}; \quad (8)$$

$$\frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial z} = \frac{\partial \zeta_s(x)}{\partial x} \cdot \frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial x} - \frac{\partial \zeta_s(x)}{\partial x}, \quad z = \zeta_s(x); \quad (9)$$

$$\omega \zeta_s(x) - \frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial x} + \frac{1}{2} \left\{ \left[ \frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial x} \right]^2 + \left[ \frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial z} \right]^2 \right\} = 0, \quad z = \zeta_s(x); \quad (10)$$

Отметим, что функция  $\zeta_s(x) - 2\pi$  – периодична.

Условие затухания волнового движения с ростом глубины, как и выше, записывается отдельно для глубокой воды

$$\lim_{z \rightarrow -\infty} \text{grad} \Phi(x, z) = 0; \quad (11)$$

и для мелководья

$$\frac{\partial}{\partial z_1} \varphi(x_1, z_1 = -h, t) = 0, \quad -\infty < x_1 < \infty. \quad (12)$$

Здесь  $\omega = \frac{g}{kc^2} = \frac{1}{2\pi} \frac{g\lambda}{c^2}$ .

В исходной постановке задач, как на глубокой воде, так и на мелководье, считаются заданными длина волны  $\lambda$  и скорость бега волн  $c$ , а величина  $\omega$  подлежит определению. Для глубокой воды  $\omega \rightarrow 1$ .

Продифференцируем (10) по  $x$ , выразим из полученного равенства  $\frac{\partial \zeta_\varepsilon(x)}{\partial x}$  и подставим это выражение в (9). Будем считать, что возмущения жидкости невелики. Тогда величины  $\zeta_\varepsilon(x)$ ,  $\frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial z}$ , а также их производные по координатам представляют собой величины порядка  $\varepsilon < 1$ , где  $\varepsilon$  - характерный линейный размер задачи (здесь - отношение амплитуды волны к ее длине). В этом случае

$$\frac{\partial^2 \Phi(x, z)}{\partial x^2} + \omega \frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial z} = 0(\varepsilon^2), \quad \text{при } z = \zeta_\varepsilon(x). \quad (13)$$

Обозначим функции, входящие в условие (13) на свободной поверхности, символом  $f(x, z) = f[x, z = \zeta_\varepsilon(x)]$ . Разложим эти функции в ряд по  $z$ , учитывая, что они вычисляются на свободной поверхности  $z = \zeta_\varepsilon(x)$  и, удерживая члены разложения порядка  $\varepsilon^2$ , получим

$$f(x, z) = f(x, 0) + \zeta_\varepsilon(x) \cdot \frac{\partial f(x, 0)}{\partial z} + 0(\varepsilon^2), \quad (14)$$

поскольку  $|f(x, z)| \sim \varepsilon$ .

После преобразований получается, что

$$\left[ \frac{\partial^2 \Phi(x, z)}{\partial x^2} + \omega \frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial z} \right]_{z=\zeta_\varepsilon(x)} = \left[ \frac{\partial^2 \Phi(x, 0)}{\partial x^2} + \omega \frac{\partial \Phi(x, 0)}{\partial z} \right] + 0(\varepsilon^3). \quad (15)$$

Приближенное краевое условие для потенциала скоростей при «средних» возмущениях записывается в виде

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \Phi(x, 0)}{\partial x^2} + \omega \frac{\partial \Phi(x, 0)}{\partial z} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left[ \frac{\partial \Phi(x, 0)}{\partial x} \right]^2 + \left[ \frac{\partial \Phi(x, 0)}{\partial z} \right]^2 \right\} - \\ & - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\partial \Phi(x, 0)}{\partial x} \right]^2 + 0(\varepsilon^3) = 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Таким образом, при «средних» возмущениях получается приближенная (с точностью до малых порядка  $\varepsilon^3$ ) краевая задача для потенциала возмущенных скоростей волнового движения

$$\frac{\partial^2 \Phi(x, z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi(x, z)}{\partial z^2} = 0, \quad (x, z) \in E_0; \quad (17)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi(x,0)}{\partial x^2} + \omega \frac{\partial \Phi(x,0)}{\partial z} - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left[ \frac{\partial \Phi(x,0)}{\partial x} \right]^2 + \left[ \frac{\partial \Phi(x,0)}{\partial z} \right]^2 \right\} - \quad (18)$$

$$- \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\partial \Phi(x,0)}{\partial x} \right]^2 + o(\varepsilon^3) = 0, \quad -\infty < x < \infty;$$

$$\lim_{z \rightarrow -\infty} \text{grad } \Phi(x, z) = 0. \quad (19)$$

Область  $E_0$  определения потенциала  $\Phi(x, z)$  – нижняя полуплоскость  $z \leq 0$ . Эта область – физическое пространство, в котором описываются кинематические и гидродинамические характеристики исследуемого волнового движения.

Введем вместо нормированного физического пространства  $(x, z)$  условное деформированное пространство  $(\xi, \eta)$ , выполнив замену переменных

$$x = \xi + F(\xi, \eta), \quad z = \eta. \quad (20)$$

Для определения функции  $F(\xi, \eta)$  предположим, что сама эта функция и ее частные производные до второго порядка включительно по  $\xi$  и  $\eta$  имеют порядок малости  $\varepsilon$ . Для того, чтобы краевую задачу (17)–(19) перенести из физического пространства  $(x, z)$  в условное пространство  $(\xi, \eta)$ , вычислим производные  $\xi$  и  $\eta$  по  $x$  и  $z$ . Первые производные имеют вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial \xi}{\partial x} &= \frac{1}{1 + \frac{\partial F}{\partial \xi}} = 1 - \frac{\partial F}{\partial \xi} + o(\varepsilon^2); & \frac{\partial \eta}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial \xi}{\partial z} &= -\frac{\partial F}{\partial \eta} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\partial F}{\partial \xi}} = -\frac{\partial F}{\partial \eta} + o(\varepsilon^2); & \frac{\partial \eta}{\partial z} &= 1. \end{aligned} \quad (21)$$

Соответствующие вторые производные

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} &= -\frac{\partial^2 F}{\partial \xi^2} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\partial F}{\partial \xi}\right)^3} = -\frac{\partial^2 F}{\partial \xi^2} + o(\varepsilon^2); & \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} &= 0; \\ \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} &= -\frac{\partial^2 F}{\partial \eta^2} + o(\varepsilon^2); & \frac{\partial^2 \eta}{\partial z^2} &= 0. \end{aligned} \quad (22)$$

С учетом (21) и (22) производные потенциала  $\Phi(x, z)$  в новых переменных примут вид

$$\frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial x} = \frac{\partial \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi} - \frac{\partial F(\xi, \eta)}{\partial \xi} \cdot \frac{\partial \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi} + o(\varepsilon^3); \quad (23)$$

$$\frac{\partial \Phi(x, z)}{\partial z} = \frac{\partial \Phi(\xi, \eta)}{\partial \eta} - \frac{\partial F(\xi, \eta)}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi} + o(\varepsilon^3); \quad (24)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi(x, z)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi^2} - 2 \frac{\partial F(\xi, \eta)}{\partial \xi} \cdot \frac{\partial^2 \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi^2} - \frac{\partial^2 F(\xi, \eta)}{\partial \xi^2} \cdot \frac{\partial \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi} + o(\varepsilon^3); \quad (25)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi(x, z)}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \Phi(\xi, \eta)}{\partial \eta^2} - 2 \frac{\partial F(\xi, \eta)}{\partial \eta} \cdot \frac{\partial^2 \Phi(\xi, \eta)}{\partial \eta^2} - \frac{\partial^2 F(\xi, \eta)}{\partial \eta^2} \cdot \frac{\partial \Phi(\xi, \eta)}{\partial \eta} + o(\varepsilon^3). \quad (26)$$

Подставляя соотношения (23)-(26) в краевую задачу (17)-(19) и пренебрегая слагаемыми порядка  $\varepsilon^3$  и выше, получаем соответствующую краевую задачу в деформированном пространстве  $(\xi, \eta)$ , приведенную в [7].

Для выбора функции  $F(\xi, \eta)$  используем условия

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \Phi(\xi, 0)}{\partial \xi} \left[ \frac{\partial^2 F(\xi, 0)}{\partial \xi^2} + \omega \cdot \frac{\partial F(\xi, 0)}{\partial \eta} \right] + \frac{\partial^2 \Phi(\xi, 0)}{\partial \xi^2} \left[ 2 \cdot \frac{\partial F(\xi, 0)}{\partial \xi} + \right. \\ & \left. + \frac{\partial \Phi(\xi, 0)}{\partial \xi} \right] + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \xi} \left\{ \left[ \frac{\partial \Phi(\xi, 0)}{\partial \xi} \right]^2 + \left[ \frac{\partial \Phi(\xi, 0)}{\partial \eta} \right]^2 \right\} = 0; \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi} \left[ \frac{\partial^2 F(\xi, \eta)}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 F(\xi, \eta)}{\partial \eta^2} \right] + 2 \left[ \frac{\partial^2 \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi^2} \cdot \frac{\partial F(\xi, \eta)}{\partial \xi} + \right. \\ & \left. + \frac{\partial^2 \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi \partial \eta} \cdot \frac{\partial F(\xi, \eta)}{\partial \eta} \right] = 0. \end{aligned} \quad (28)$$

Эти условия удовлетворяются, если принять

$$F(\xi, \eta) = -\frac{1}{2} \Phi(\xi, \eta) = -\frac{1}{2} \cdot A \cdot \exp(\omega \eta) \cdot \sin \omega \xi. \quad (29)$$

Для функции  $\Phi(\xi, \eta)$  в деформированном пространстве  $(\xi, \eta)$  получается классическая задача теории волн малой амплитуды [8]. Ее решение получается в виде

$$\Phi(\xi, \eta) = A \exp(i\omega\eta) \sin \omega\xi. \quad (30)$$

Таким образом, функции  $\Phi(\xi, \eta)$  и  $F(\xi, \eta)$  определяют в деформированном пространстве решение краевой задачи (17)-(19) волновых движений жидкости для «средних» возмущений. Взаимно-однозначное соответствие точек  $(x, z)$  физического пространства и  $(\xi, \eta)$  деформированного пространства устанавливается формулами

$$x = \xi - \frac{1}{2} A \exp(i\omega\eta) \sin \omega\xi, \quad z = \eta. \quad (31)$$

Константа  $A$  [7] определяется по уравнению волнового профиля с точностью до малых третьего порядка с учетом условия неразрушения волн.

Для мелководной акватории граничные условия на свободной поверхности допускают такое же преобразование, как и в случае глубокой воды. Полагая, что возмущения жидкости невелики, и удерживая в граничных условиях слагаемые, имеющие порядок малости не выше  $\varepsilon^2$  ( $\varepsilon \ll 1$ ), получаем приближенную краевую задачу для потенциала  $\Phi(x, z)$  при «средних» возмущениях, включающую условия (17), (18), а вместо (19) будет

$$\frac{\partial}{\partial z} \Phi(x, -H) = 0, \quad -\infty < x < \infty. \quad (32)$$

Область  $E'_0$  определения потенциала  $\Phi(x, z)$  — это полоса  $\{-\infty < x < \infty, -H \leq z \leq 0\}$ , в которой отыскиваются характеристики волнового движения.

Как и для случая неограниченной глубины, вместо нормированного физического пространства  $[|x| < \infty, -H \leq z \leq 0]$  введем условное деформированное пространство  $(\xi, \eta)$  с помощью преобразования координат

$$x = \xi + K(\xi, \eta); \quad z = \eta. \quad (33)$$

Функция  $K(\xi, \eta)$  определяется так, чтобы нелинейную краевую задачу (17), (18), (32) для потенциала  $\Phi(x, z)$  в нормированном физическом пространстве свести к совокупности линейных краевых задач в

деформированном пространстве. Функция  $K(\xi, \eta)$  и ее частные производные по переменным  $\xi$  и  $\eta$  до второго порядка включительно имеют порядок малости  $\varepsilon$ .

Используя соотношения (21)-(26), в которых функция  $F(\xi, \eta)$  заменяется функцией  $K(\xi, \eta)$ , из краевой задачи (17), (18), (32) получаем дифференциальную систему для потенциала скоростей  $\Phi(\xi, \eta)$  в деформированном пространстве  $(\xi, \eta)$ , которая включает лишь составляющие с порядком малости не выше  $\varepsilon^2$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \Phi(\xi, \eta)}{\partial \eta^2} - \frac{\partial \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi} \left[ \frac{\partial^2 K(\xi, \eta)}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 K(\xi, \eta)}{\partial \eta^2} \right] - \\ & - 2 \cdot \left[ \frac{\partial^2 \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi^2} \cdot \frac{\partial K(\xi, \eta)}{\partial \xi} + \frac{\partial^2 \Phi(\xi, \eta)}{\partial \xi \partial \eta} \cdot \frac{\partial K(\xi, \eta)}{\partial \eta} \right] + O(\varepsilon^3) = 0; \end{aligned} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 \Phi(\xi, 0)}{\partial \xi^2} + \omega \frac{\partial \Phi(\xi, 0)}{\partial \eta} - \frac{\partial \Phi(\xi, 0)}{\partial \xi} \left[ \frac{\partial^2 K(\xi, 0)}{\partial \xi^2} + \omega \cdot \frac{\partial K(\xi, 0)}{\partial \eta} \right] - \frac{\partial^2 \Phi(\xi, 0)}{\partial \xi^2} \times \\ & \times \left[ 2 \frac{\partial K(\xi, 0)}{\partial \xi} + \frac{\partial \Phi(\xi, 0)}{\partial \xi} \right] - \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \xi} \left\{ \left[ \frac{\partial \Phi(\xi, 0)}{\partial \xi} \right]^2 + \left[ \frac{\partial \Phi(\xi, 0)}{\partial \eta} \right]^2 \right\} + O(\varepsilon^3) = 0; \end{aligned} \quad (35)$$

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \Phi(\xi, -H) - \frac{\partial}{\partial \eta} K(\xi, -H) \frac{\partial}{\partial \xi} \Phi(\xi, -H) = O(\varepsilon^3). \quad (36)$$

Представим потенциал  $\Phi(\xi, \eta)$  в виде суммы

$$\Phi(\xi, \eta) = \Phi_1(\xi, \eta) + \Phi_2(\xi, \eta) + O(\varepsilon^3), \quad (37)$$

считая, что  $\Phi_1 = O(\varepsilon)$ , а  $\Phi_2 = O(\varepsilon^2)$ . Учитывая, что  $K = O(\varepsilon)$ , из системы (34)-(36) получаем две дифференциальные системы относительно потенциалов  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , т.е. нелинейная краевая задача для потенциала скорости при «средних» возмущениях сводится к совокупности двух линейных краевых задач.

Дифференциальная система для потенциала  $\Phi_1(\xi, \eta)$  – это стандартная краевая задача теории прогрессивных волн малой амплитуды на мелководье. Ее решение выписывается [8] в виде

$$\Phi_1(\xi, \eta) = Bch\alpha(\eta + H) \sin \alpha \xi, \quad (38)$$



где  $\alpha$  и  $\omega$  связаны дисперсионным соотношением

$$\alpha = \omega th \alpha H. \quad (39)$$

По смыслу величина  $\alpha$  является сама волновым числом в деформированном пространстве  $(\xi, \eta)$ .

Константа  $B$  [6] определяется по уравнению волнового профиля с точностью до малых третьего порядка с учетом условия неразрушения волн.

Если принять

$$K(\xi, \eta) = -\frac{1}{2} \Phi_1(\xi, \eta) = -\frac{1}{2} B ch \alpha (\eta + H) \sin \alpha \xi \quad (40)$$

и подставить выражения для функции  $K(\xi, \eta)$  и потенциала первого порядка  $\Phi_1(\xi, \eta)$  в дифференциальную систему для  $\Phi_2(\xi, \eta)$ , как это сделано в [6], получим

$$\Phi_2(\xi, \eta) = -\frac{1}{2} B^2 \alpha^3 \frac{ch 2\alpha (\eta + H) \cdot \sin 2\alpha \xi}{\omega \alpha sh 2\alpha H - 2\alpha^2 ch 2\alpha H} - \frac{1}{8} B^2 \alpha \sin 2\alpha \xi. \quad (41)$$

**Выводы.** В работе показаны особенности применения оригинального метода приближенного решения нелинейных волновых задач, связанного с использованием условий деформации пространства. Полученные с помощью этого метода выражения для потенциала скоростей волнения конечной амплитуды в условиях глубокой воды и мелководья могут быть применены для определения характеристик волнения, а также для оценки волнового воздействия на суда, плавучие и стационарные морские сооружения.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сердюченко А.Н. Динамика морских волн и судна в шторме с учетом нелинейных эффектов // Гидромеханика. Межведомственный сборник научных трудов. – Вып. 72. – К.: НАН Украины. Институт гидромеханики, 1998. – С. 112-134.
2. Мореходность судов и средств океанотехники. Методы оценки: Монография / Под ред. И.К. Бородая. – ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – СПб., 2013. – 256 с.
3. Лопатухин Л.И. Ветровое волнение: Учебн. пособие / Л.И. Лопатухин. – СПб.: ВВМ, 2012. – 165 с.
4. Fenton J.D. Nonlinear wave theories // The Sea, Vol.9: Ocean Engineering Science / B. Le Mehaute, D.M. Hanes, Eds. – Wiley, New York, 1990. – 19 p.

5. *Kinnas A.S. Notes on fifth-order gravity wave theory // Fundamentals of offshore structures and design of fixed offshore platforms / OTRC/UT Austin, 13.04.2007. – 9 p.*
6. Федорова Е.Ю. Приближенная гидродинамическая теория прогрессивных волн конечной амплитуды // Вісник ОДМУ. – Одеса: Вид-во ОДМУ, 1998. – № 1. – С. 57-61.
7. Федорова Е.Ю. Развитие методов решения задачи о прогрессивных волнах конечной амплитуды // Вісник ОДМУ. – Одеса: Вид-во ОДМУ, 1998. – № 1. – С. 62-66.
8. Сретенский Л.Н. Теория волновых движений жидкости. – М.: Наука, 1977. – 816 с.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2016

**Рецензенти:**

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **А.В. Демідюк**

кандидат технічних наук, старший науковий співпрацівник Морського Інженерного Бюро **О.Ю. Нільва**

УДК 629.7.073

E. Suhire

### MIRACLE-ON-THE-HUDSON: QUANTITATIVE AFTERMATH

*Application of the quantitative probabilistic risk management (PRM) concept should complement in various human-in-the-loop (HITL) situations, whenever feasible and possible, the existing vehicular psychology practices, which are typically qualitative a-posteriori statistical assessments. A PRM approach based on the double exponential probability distribution function (DEPDF) of the extreme value distribution (EVD) type is suggested as a suitable quantitative technique for assessing the probability of the human non-failure in an off-normal flight situation. The human capacity factor (HCF) is introduced in this distribution and considered along with the (elevated) short-term mental workload (MWL) that the human (pilot) has to cope with in an off-normal (emergency) situation. The famous 2009 US Airways «miracle-on-the-Hudson» successful landing (ditching) and the infamous 1998 Swiss Air «UN-shuttle» disaster are chosen to illustrate the usefulness and fruitfulness of the approach. It is shown that it was the exceptionally high HCF of the US Airways crew and especially that of its captain Sullenberger that made a reality what seemed to be, at the first glance, a «miracle». It is shown also that the highly professional and, in general, highly qualified Swiss Air crew exhibited inadequate performance (quantified in our analysis as a relatively low HCF level) in the off-normal situation they encountered with. The Swiss Air crew made several fatal errors and, as a result, crashed the aircraft. In addition to the DEPDF based approach, we show that the probability of safe landing can be evaluated by comparing the (random) operation time (that consists of the decision making time and the landing time) with the «available» time needed for landing. It is concluded that the developed formalisms, after trustworthy input data are obtained (using, e.g., flight simulators or applying Delphi method) might be applicable even beyond the vehicular domain and can be employed in various HITL situations, when a short term high human performance is imperative and therefore the ability to quantify it is highly desirable. It is concluded also that, although the obtained numbers make physical sense, it is the approach, not the numbers, that is, in the author's opinion, the main merit of the paper.*

**Keywords:** *the concept of quantitative probabilistic risk management, double exponential probability distribution function, the human capacity factor, off-normal (emergency) situation in transport.*

*Кількісна імовірнісна оцінка (КІО) ролі людського фактора в різних «людина-в-полі-зору» (ЛВПЗ) ситуаціях, де ця роль важлива, повинна доповнювати, коли це можливо і доцільно, існуючі методи психології*

хології в задачах безпеки руху. Методи ці є, як правило, якісними статистичними методами, і застосовуються вони в більшості випадків «апостериорно», тобто коли подія вже відбулася. У даній статті пропонується підхід, заснований на методі кількісної апріорної ймовірнісної оцінки благополучного результату місії або події, пов'язаних з безпекою руху. Пропонований метод заснований на застосуванні функції розподілу ймовірностей типу «статистики екстремальних значень» і використовується для оцінки ймовірності безпомилкових дій пілота в Екстраординарних (незвичайних) умовах польоту. Знамените успішне «приводнення» літака компанії US Airways в 2009 р на Гудзоні («чудо-на-Гудзоні») і сумно-відома катастрофа швейцарського «Swiss Air 'UN-shuttle'», що відбулася в 2009 році, прийняті в якості ілюстрацій корисності і плідності підходу. Робиться висновок, що пропонований формалізм, після того як отримані досить достовірні вихідні дані (що може бути зроблено з використанням тренажера і/або на підставі відомого методу дельфійського оракула), може бути успішно застосований і за межами області безпеки руху транспортних засобів, в різних ситуаціях, коли дії людини в екстраординарних (незвичайних) умовах і їх кількісна оцінка вкрай важливі.

**Ключові слова:** концепція кількісного ймовірнісного управління ризиками, подвійна експоненціальна функція розподілу ймовірностей, фактор людського потенціалу, нештатна (аварійна) ситуація на транспорті.

*Количественная вероятностная оценка (КВО) роли человеческого фактора в различных «человек-в-поле-зрения» (ЧВПЗ) ситуациях, где эта роль важна, должна дополнять, когда это возможно и целесообразно, существующие методы психологии в задачах безопасности движения. Методы эти являются, как правило, качественными статистическими методами, и применяются они в большинстве случаев «апостериорно», т.е. когда событие уже произошло. В данной статье предлагается подход, основанный на методе количественной априорной вероятностной оценки благополучного исхода миссии или события, связанных с безопасностью движения. Предлагаемый метод основан на применении функции распределения вероятностей типа «статистики экстремальных значений» и используется для оценки вероятности безошибочных действий пилота в экстраординарных (необычных) условиях полёта. Знаменитое успешное «приводнение» самолёта компании US Airways в 2009 г. на Гудзоне («чудо-на-Гудзоне») и печально-знаменитая катастрофа швейцарского «Swiss Air 'UN-shuttle'», произошедшая в 2009 году, приняты в качестве иллюстраций полезности и плодотворности подхода. Делается вывод, что предлагаемый формализм, после того как получены достаточно достоверные исходные данные (что может быть сделано с использованием тренажёра и/или на основании т. н. метода дельфийского оракула), может быть успешно применён и за пределами*

области безопасности движения транспортных средств, в различных ситуациях, когда действия человека в экстраординарных (необычных) условиях и их количественная оценка крайне важны.

**Ключевые слова:** концепция количественного вероятностного управления рисками, двойная экспоненциальная функция распределения вероятностей, фактор человеческого потенциала, нештатная (аварийная) ситуация на транспорте.

*Application of the quantitative probabilistic risk management (PRM) concept should complement in various human-in-the-loop (HITL) situations, whenever feasible and possible, the existing vehicular psychology practices, which are typically qualitative a-posteriori statistical assessments. A PRM approach based on the double exponential probability distribution function (DEPDF) of the extreme value distribution (EVD) type is suggested as a suitable quantitative technique for assessing the probability of the human non-failure in an off-normal flight situation. The human capacity factor (HCF) is introduced in this distribution and considered along with the (elevated) short-term mental workload (MWL) that the human (pilot) has to cope with in an off-normal (emergency) situation. The famous 2009 US Airways «miracle-on-the-Hudson» successful landing (ditching) and the infamous 1998 Swiss Air «UN-shuttle» disaster are chosen to illustrate the usefulness and fruitfulness of the approach. It is shown that it was the exceptionally high HCF of the US Airways crew and especially that of its captain Sullenberger that made a reality what seemed to be, at the first glance, a «miracle». It is shown also that the highly professional and, in general, highly qualified Swiss Air crew exhibited inadequate performance (quantified in our analysis with a relatively low HCF level) in the off-normal situation they encountered with. The Swiss Air crew made several fatal errors and, as a result, crashed the aircraft. In addition to the DEPDF based approach, we show that the probability of safe landing can be evaluated by comparing the (random) operation time (that consists of the decision making time and the landing time) with the «available» time needed for landing. It is concluded that the developed formalisms, after trustworthy input data are obtained (using, e.g., flight simulators or applying Delphi method) might be applicable even beyond the vehicular domain and can be employed in various HITL situations, when a short term high human performance is imperative and therefore the ability to quantify it is highly desirable. It is concluded also that, although the obtained numbers make physical sense, it is the approach, not the numbers, that is, in the author's opinion, the main merit of the paper.*

**Keywords:** the concept of quantitative probabilistic risk management, double exponential probability distribution function, the human capacity factor, off-normal (emergency) situation in transport.

**Introduction.** Human error contributes to about 80 % of vehicular (avionic, maritime, railroad, automotive) casualties (see, e.g., [1-7]). Ability to understand their nature and minimize their likelihood is of obvious and significant importance. Considerable safety improvements in various off-normal vehicular situations can be achieved through better training, better ergonomics, better work environment, and other human psychology related means and efforts that directly affect human behavior and performance: psychological analysis of casualties, computer-aided simulations (including attempts to mimic the actual situation in an aircraft cockpit or in a space-shuttle cabin), and a-posteriori statistical analyses of the occurred casualties and accidents. There is also an opportunity (potential) for casualty reduction through better understanding the role that uncertainties of different nature play in the operator's world of work: uncertain environmental conditions; dependability and availability of instrumentation and equipment; trustworthiness, consistency and user-friendliness of the obtained information; predictability and timeliness of the response of the object of control (aircraft, spacecraft, boat) to the navigator's actions; performance of the interfaces of these factors, etc. By employing quantifiable and measurable ways to assess the role of various critical uncertainties and by treating a HITL as a part (often as the most crucial part) of the complex «man-instrumentation-equipment-vehicle-environment» system, one could improve dramatically the human performance, and predict and minimize the probability of a mission failure [8-11].

PRM based concepts, methods, approaches and algorithms could and should be widely used, in addition to the psychological activities and efforts, when there is a need to evaluate, quantify, optimize and, when possible and appropriate, even specify the human ability (capacity) to cope with an elevated MWL. The following ten factors that affect mission success and safety in various HITL situations should be considered:

- human performance (capacity) factor;
- navigation, information and control instrumentation (equipment) factor;
- vehicle (object of control) factor;
- environmental factor;
- six interfaces between (interactions of) the above factors.

All these factors and their interfaces are associated with uncertainties that contribute to the cumulative probability that a certain pre-established safety criterion for a particular anticipated casualty or a mishap is violated. These uncertainties are characterized by their probability distributions, safety criteria, consequences of possible failure and the levels of the acceptable risk.

When adequate human performance in a particular critical HITL situation is imperative, ability to quantify the human factor is highly desirable. Such a quantification could be done particularly by comparing the actual or anticipated MWL with the likely («available») human capacity factor (HCF). The MWL vs. HCF based models and their modifications and generalizations can

be helpful particularly, after appropriate algorithms are developed and extensive sensitivity analyses are carried out,

- to evaluate the role that the human plays, in terms of his/her ability (capacity) to cope with a MWL in various situations, when human factor, equipment/instrumentation performance and uncertain and often harsh environments contribute jointly to the success and safety of a task or a mission;
- to assess the risk of a particular mission success and safety, with consideration of the «human-in-the-loop» performance;
- to develop guidelines for personnel selection and training;
- to choose the appropriate simulation conditions; and/or
- to decide if the existing levels of automation and the employed equipment (instrumentation) are adequate in possible off-normal situations (if not, additional and/or more advanced and perhaps more expensive equipment or instrumentation should be developed, tested and installed).

In the analysis that follows the DEPDF based model is applied for the evaluation of the likelihood of a human non-failure in an emergency vehicular mission-success-and-safety situation. The famous 2009 «miracle-on-the-Hudson» event and the infamous 1998 «UN-shuttle» disaster are used to illustrate the substance and fruitfulness of the approach. We try to shed «probabilistic light» on these two well-known events. As far as the «miracle-on-the-Hudson» is concerned, we intend to provide quantitative assessments of why such a «miracle» could have actually occurred, and what had been and had not been indeed a «miracle» in this incident: a divine intervention, a perceptible interruption of the laws of nature, or «simply» a wonderful and rare occurrence that was due to a heroic act of the aircraft crew and especially of its captain Sullenberger, the lead «miracle worker» in the incident. As to the «UN-shuttle» crash, we are going to demonstrate that the crash occurred because of the low HCF of the aircraft crew in an off-normal situation that they had encountered and that was, in effect, much less demanding than the «miracle-on-the-Hudson» situation. Some other reported water landings (ditchings) of passenger airplanes are listed in Appendix A. Some of them have ended successfully.

**PRM-based HCF vs. MWL approach: «ten commandments».** Here are the major principles («ten commandments») of our PRM-based approach:

1. HCF is viewed as an appropriate quantitative measure (not necessarily and not always probabilistic though) of the human ability to cope with an elevated short term MWL;
2. It is the relative levels of the MWL and HCF (whether deterministic or random) that determine the probability of human non-failure in a particular HITL situation;
3. Such a probability cannot be low, but need not be higher than necessary either: it has to be adequate for a particular anticipated application and situation;
4. When adequate human performance is imperative, ability to quantify it is highly desirable, especially if one intends to optimize and assure adequate HITL performance;

5. One cannot assure adequate human performance by just conducting routine today's human psychology based efforts (which might provide appreciable improvements, but do not quantify human behavior and performance; in addition, these efforts might be too and unnecessarily costly), and/or by just following the existing «best practices» that are not aimed at a particular situation or an application; the events of interest are certainly rare events, and «best practices: might or might not be applicable»;

6. MWLs and HCFs should consider, to an extent possible, the most likely anticipated situations; obviously, the MWLs are and HCFs should be different for a jet fighter pilot, for a pilot of a commercial aircraft, or for a helicopter pilot, and should be assessed and specified differently;

7. PRM is an effective means for improving the state-of-the-art in the HITL field: nobody and nothing is perfect, and the difference between a failed human performance and a successful one is «merely» in the level of the probability of non-failure;

8. Failure oriented accelerated testing (FOAT) on a flight simulator is viewed as an important constituent part of the PRM concept in various HITL situations: it is aimed at better understanding of the factors underlying possible failures; it might be complemented by the Delphi effort [12];

9. Extensive predictive modeling (PM) is another important constituent of the PRM based effort, and, in combination with highly focused and highly cost effective FOAT, is a powerful and effective means to quantify and perhaps nearly eliminate human failures;

10. Consistent, comprehensive and psychologically meaningful PRM assessments can lead to the most feasible HITL qualification (certification) methodologies, practices and specifications.

**Most likely (normal) mental workload (MWL).** Our HCF vs. MWL approach considers elevated (off-normal) random relative HCF and MWL levels with respect to the ordinary (normal, pre-established) deterministic HCF and MWL values. These values could and should be established on the basis of the existing human psychology practices.

The interrelated concepts of situation awareness and MWL («demand») are central to the today's aviation psychology. Cognitive (mental) overload has been recognized as a significant cause of error in aviation. The MWL is directly affected by the challenges that a navigator faces, when controlling the vehicle in a complex, heterogeneous, multitask, and often uncertain and harsh environment. Such an environment includes numerous different and interrelated concepts of situation awareness: spatial awareness for instrument displays; system awareness for keeping the pilot informed about actions that have been taken by automated systems; and task awareness that has to do with the attention and task management. The time lags between critical variables require predictions and actions in an uncertain world. The MWL depends on the operational conditions and on the complexity of the mission. MWL has to do therefore with the significance of the long- or short-term task. The long-term MWL is illustrated in Figure 1.



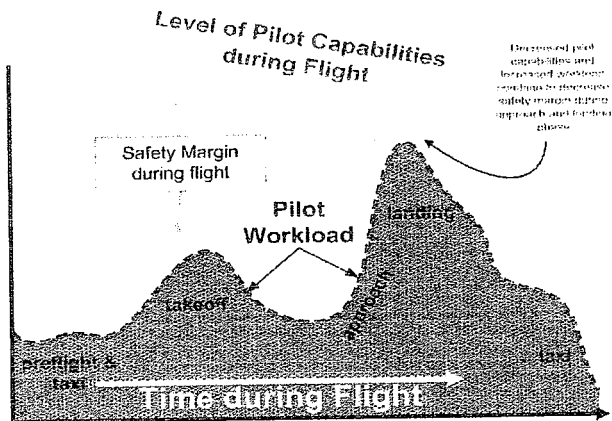


Fig. 1. Long-term (pilot capabilities) HCF vs. MWL (pilot workload)

Task management is directly related to the level of the MWL, as the competing «demands» of the tasks for attention might exceed the operator's resources – his/her «capacity» to adequately cope with the «demands» imposed by the MWL.

Measuring the MWL has become a key method of improving aviation safety. There is an extensive published work in the psychological literature devoted to the measurement of the MWL in aviation, both military and commercial. Pilot's MWL can be measured using subjective ratings and/or objective measures. The subjective ratings during FOAT (simulation tests) can be, e.g., after the expected failure is defined, in the form of periodic inputs to some kind of data collection device that prompts the pilot to enter a number between 1 and 10 (for example) to estimate the MWL every few minutes. There are some objective MWL measures, such as, e.g., heart rate variability. Another possible approach uses post-flight paper questionnaires. It is easier to measure the MWL on a flight simulator than in actual flight conditions. In a real aircraft, one would probably be restricted to using post-flight subjective (questionnaire) measurements, since one would not want to interfere with the pilot's work.

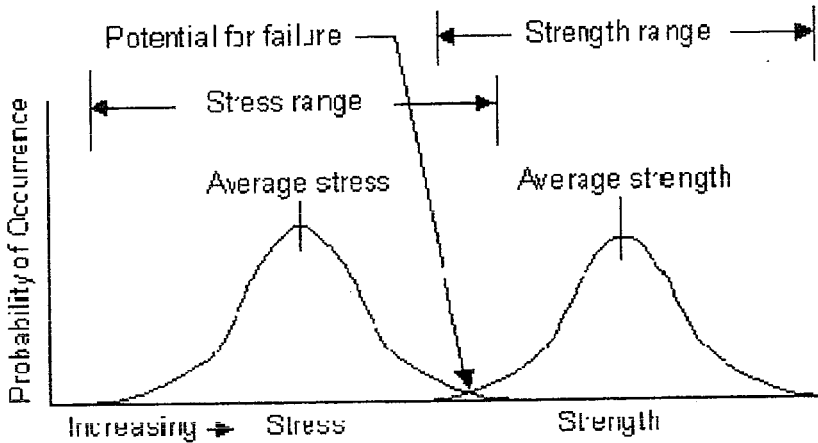
Given the multidimensional nature of MWL, no single measurement technique can be expected to account for all the important aspects of it. In modern military aircraft, complexity of information, combined with time stress, creates difficulties for the pilot under combat conditions, and the first step to mitigate this problem is to measure and manage the MWL. Current research efforts in measuring MWL use psycho-physiological techniques, such as electroencephalographic, cardiac, ocular, and respiration measures in an attempt to identify and predict MWL levels. Measurement of cardiac activity has been a useful physiological technique employed in the assessment of MWL, both from tonic variations in heart rate and after treatment of the cardiac signal.

**Most likely (normal) human capacity factor (HCF).** HCF includes, but might not be limited to, the following major qualities that would enable a professional human to successfully cope with an elevated off-normal MWL:

- psychological suitability for a particular task;
- professional experience and qualifications;
- education, both special and general;
- relevant capabilities and skills;
- level, quality and timeliness of training;
- performance sustainability (consistency, predictability);
- independent thinking and independent acting, when necessary;
- ability to concentrate;
- ability to anticipate;
- self control and ability to act in cold blood in hazardous and even life threatening situations;
- mature (realistic) thinking;
- ability to operate effectively under pressure, and particularly under time pressure;
- ability to operate effectively, when necessary, in a tireless fashion, for a long period of time (tolerance to stress);
- ability to act effectively under time pressure and make well substantiated decisions in a short period of time;
- team-player attitude, when necessary;
- swiftness in reaction, when necessary.

These and other qualities are certainly of different importance in different HITL situations. It is clear also that different individuals possess these qualities in different degrees. Long-term HCF is illustrated by Figure 1. It could be time-dependent. In order to come up with a suitable figures-of-merit (FOM) for the HCF, one could rank, similarly to the MWL estimates for particular situations or missions, the above and perhaps other qualities on the scale from, say, one to four, and calculate the average FOM for each individual and particular task (see, e.g., Tables 5, 6 and 8 below).

**Double-exponential probability distribution function (DEPDF).** Different PRM approaches can be used in the analysis and optimization of the interaction of the MWL and HCF. When the MWL and HCF characteristics are treated as deterministic ones, a high enough safety factor  $S_F = \frac{HCF}{MWL}$  can be used. When both MWL and HCF are random variables, the safety factor can be determined as the ratio  $S_F = \frac{\langle SM \rangle}{S_{SM}}$  of the mean value  $\langle SM \rangle$  of the random safety margin  $SM = HCF - MWL$  to its standard deviation  $S_{SM}$ . When the capacity-demand («strength-stress») interference model is used (Figure 2) the HCF can be viewed as the capacity (strength) and the MWL as the demand (stress), and their overlap area could be considered as the potential (probability) of possible human failure.



*Fig. 2. Capacity-demand (strength-stress) interference model*

The capacity and the demand distributions can be steady-state or transient, i.e., their mean values can move towards each other when time progresses, and/or the MWL and HCF curves can get spread over larger areas. Yet another PRM approach is to use a single distribution that accounts for the roles of the HCF and MWL, when these (random) characteristics deviate from (are higher than) their (deterministic) most likely (regular) values. It is this approach that is used in the analysis below.

A double-exponential probability distribution function (DEPDF)

$$P_h(G, F) = P_0 \exp\left[1 - \frac{G^2}{G_0^2}\right] \exp\left[1 - \frac{F^2}{F_0^2}\right], G \geq G_0, F \geq F_0 \quad (1)$$

of the extreme value distribution (EVD) type (see, e.g., [8]) can be used to characterize the likelihood of a human non-failure to perform his/her duties, when operating a vehicle [10; 11]. Here  $P_h(G, F)$  is the probability of non-failure of the human performance as a function of the off-normal mental workload (MWL)  $G$  and outstanding human capacity factor (HCF)  $F$ ,  $P_0$  is the probability of non-failure of the human performance for the specified (normal) MWL  $G = G_0$  and the specified (ordinary) HCF  $F = F_0$ . The specified (most likely, nominal, normal) MWL and HCF can be established by conducting testing and measurements on a flight simulator. The calculated probabilities

$$p = \frac{P_h(G, F)}{P_0} = \exp\left[1 - \frac{G^2}{G_0^2}\right] \exp\left[1 - \frac{F^2}{F_0^2}\right], G \geq G_0, F \geq F_0 \quad (2)$$

(that are, in effect, ratios of the probability of non-failure in the off-normal conditions to the probability of non-failure in the normal situation) are shown in Table 1.

*Table 1*

*Calculated probability ratios of human non-failure*

$G/G_0$	1	2	3	4	5	8	10	$\infty$
$F/F_0$	x	x	x	x	x	x	x	x
1	1	4.979E-2	3.355E-4	3.059E-7	3.775E-11	4.360E-28	1.011E-43	0
2	1	0.8613	0.6715	0.4739	0.3027	0.0434	0.007234	0
3	1	0.9990	0.9973	0.9950	0.9920	0.9791	0.9673	0
4	1.0000							0
5								0
8								0
10								0
$\infty$								1.0000

The following conclusions can be drawn from the table data:

- At normal (specified, most likely) MWL level ( $G = G_0$  and/or at an extraordinary (exceptionally) high HCF level ( $F \rightarrow \infty$ ) the probability of human non-failure is close to 100%.
- The probabilities of human non-failure in off-normal situations are always lower than the probabilities of non-failure in normal (specified) conditions.
- When the MWL is extraordinarily high, the human will definitely fail, no matter how high his/her HCF is.
- When the HCF is high, even a significant MWL has a small effect on the probability of non-failure, unless the MWL is exceptionally high. For high HCFs the increase in the MWL has a much smaller effect on the probabilities on failure than for relatively low HCFs.
- The probability of human non-failure decreases with an increase in the MWL, especially at low MWL levels, and increases with an increase in the HCF, especially at low HCF levels.

These intuitively more or less obvious conclusions are quantified by the Table 1 data. These data show also that the increase in the probability ratio above 3.0 («three is a charm») has a minor effect on the probability of non-failure. This means particularly that the navigator (pilot) does not have to be trained for an unrealistically high MWL, i.e., does not have to be trained by a factor higher than 3.0 compared to a navigator of ordinary capacity (skills, qualification). In other words, a pilot does not have to be a superman to successfully cope with a high level MWL, but still has to be trained in such a way

that, when there is a need, he/she would be able to cope with a MWL by a factor of 3.0 higher than the normal level, and his/her HCF should be by a factor of 3.0 higher than what is expected of the same person in ordinary (normal) conditions. Of course, some outstanding individuals (like Captain Sullenberger, for instance) might be characterized by the HCF that corresponds to MWL's somewhat higher than 3.0 (see Table 5).

**Physical meaning of the DEPDF.** From (2) we find, by differentiation

$$\frac{dp}{dG} = -2 \frac{H(p)}{G} \frac{1}{1 - \frac{G_0^2}{G^2}} \quad (3)$$

where  $H(p) = -p \ln p$  is the entropy of the distribution of the relative probability of the human non-failure in extraordinary (off-normal) operation conditions. When the MWL  $G$  is significant, the formula (3) can be simplified

$$\frac{dp}{dG} = -2 \frac{H(p)}{G} \quad (4)$$

This result explains the physical meaning of the distribution (2): the change in the probability of human non-failure (provided that the probability of non-failure in normal conditions is simply 100 %) with the change in the MWL is, for large MWL levels, proportional to the uncertainty level that is defined by the entropy of the distribution in question and is inversely proportional to the MWL level. The right part of the formula (4) can be viewed as a kind of coefficient of variation (COV), where the role of the uncertainty level in the numerator is played by the entropy, rather than by the standard deviation, and the role of the stress (loading) level in the denominator is played by the MWL rather than by the mean value of the random characteristic of interest.

From (2) one could find also

$$\frac{dp}{dF} = 2 \frac{H(p)F}{F_0^2} \quad (5)$$

When the random HCF  $F$  is equal to its nominal value  $F_0$ , this formula yields

$$\frac{dp}{dF} = 2 \frac{H(p)}{F_0} \quad (6)$$

This result can also be used to interpret the physics underlying the DEPDF (2): the change in the probability of human non-failure with the change in the HCF at its nominal (normal) level is proportional to the entropy of the distribution (2) and is inversely proportional to the nominal HCF.

**HCF needed to satisfactorily cope with a high MWL.** From (2) we obtain

$$\frac{F}{F_0} = \sqrt{1 - \ln \left( \frac{\ln \left( 1 - \frac{G^2}{G_0^2} \right)}{1 - \frac{G^2}{G_0^2}} \right)} \quad (7)$$

This relationship is tabulated in Table 2. The following conclusion can be drawn from the computed data:

- The HCF level needed to cope with an elevated MWL increases rather slowly with an increase in the probability-of-non-failure, especially for high MWL levels, unless this probability is very low (below 0,1) or very high (above 0,9);

- In the region  $p = 0,1 \rightarrow 0,9$  the required high HCF level increases with an increase in the MWL level, but this increase is rather moderate, especially for high MWL levels;

- Even for significant MWLs that exceed the normal MWL by orders of magnitude the level of the HCF does not have to be very much higher than the HCF of a person of ordinary HCF level. When the MWL ratio is as high as 100, the HCF ratio does not have to exceed 4 to assure the probability of non-failure of as high as 0,999.

*Table 2*

*Relative HCF  $F/F_0$  vs. relative probability of non-failure and relative MWL*

$p$	E-12	E-3	E-2	0,1	0,5	0,9	0,99	0,9999
$G/G_0$	x	x	x	x	x	x	x	x
5	1,0681	1,4985	1,6282	1,8287	2,1318	2,5354	2,9628	3,6590
.10	1,5087	1,9138	2,0169	2,1820	2,4416	2,8010	3,1930	3,8478
100	2,6251	2,8771	2,9467	3,0621	3,2522	3,5300	3,8484	4,4069
1000	3,3907	3,5893	3,6453	3,7392	3,8964	4,1311	4,4063	4,9016
10000	4,0127	4,1819	4,2301	4,3112	4,4483	4,6552	4,9011	5,3508

**Different approach: operation time vs. «available» landing time.**

The above time-independent DEPDF based approach enables one to compare, on the probabilistic basis, the relative roles of the MWL and HCF in a particular off-normal HUTL situation. The role of time (e.g., swiftness in reaction) is accounted for in an indirect fashion, through the NCF level. In the analysis that follows we assess the likelihood of safe landing by considering the roles of different times directly, by comparing the operation time, which consists of the decision making time and actual landing time, with the «available» landing time (i.e., the time from the moment when an emergency was determined to the

moment of landing). Particularly, we address the item 10 of Table 4, i.e., the ability of the pilot to anticipate and to make a substantiated and valid decision in a short period of time («We are going to be in the Hudson»). It is assumed, for the sake of simplicity, that both the decision making and the landing times could be approximated by the Rayleigh's law, while the available time, considering, in the case of the «miracle-on-the-Hudson» flight) the glider conditions of the aircraft, follows the normal law with a high ratio of the mean value to the standard deviation. Safe landing could be expected if the probability that it occurs during the «available» landing time is sufficiently high. The formalism of such a model is similar to the helicopter-landing-ship (HLS) formalism developed earlier [9].

**Probability that the operation time exceeds a certain level.** If the (random) sum,  $T = t + \theta$ , of the (random) decision making time,  $t$ , and the (random) time,  $\theta$ , needed to actually land the aircraft is lower, with a high enough probability, than the (random) duration,  $L$ , of the available time, then safe landing becomes possible. In the analysis that follows we assume the simplest probability distributions for the random times of interest. We use the Rayleigh's law

$$f_t(t) = \frac{t}{t_0^2} \exp\left(-\frac{t^2}{2t_0^2}\right), \quad f_\theta(t) = \frac{\theta}{\theta_0^2} \exp\left(-\frac{\theta^2}{2\theta_0^2}\right) \quad (8)$$

as a suitable approximation for the random times  $t$  and  $\theta$  of decision making and actual landing, and the normal law

$$f_l(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(l-l_0)^2}{2\sigma^2}\right), \quad \frac{l_0}{\sigma} \geq 4.0 \quad (9)$$

as an acceptable approximation for the available time,  $L$ . In the formulas (8) and (9),  $t_0$  and  $\theta_0$  are the most likely times of decision making and landing, respectively (in the case of a Rayleigh law these times coincide with the standard deviations of the random variables in question),  $l_0$  is the most likely (mean) value of the available time, and  $\sigma$  is the standard deviation of this time. The ratio  $\frac{l_0}{\sigma}$  («safety factor») of the mean value of the available time to

its standard deviation should be large enough (say, larger than 4), so that the normal law could be used as an acceptable approximation for a random variable that, in principle, cannot be negative, as it is the case when this variable is time.

The probability,  $P_*$ , that the sum  $T = t + \theta$  of the random variables  $t$  and  $\theta$  exceeds a certain time level,  $\hat{T}$ , can be found on the basis of the convolution of two random times distributed in accordance with the Rayleigh law as follows:

$$\begin{aligned}
 P_* = & 1 - \int_0^{\hat{T}} \frac{t}{t_0^2} \exp\left(-\frac{t^2}{2t_0^2}\right) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{(T-t)^2}{2\theta_0^2}\right) \right] dt = \exp\left(-\frac{\hat{T}^2}{2t_0^2}\right) + \\
 & + \exp\left[-\frac{\hat{T}^2}{2(t_0^2 + \theta_0^2)}\right] \times \left\{ \frac{\theta_0^2}{t_0^2 + \theta_0^2} \left[ \exp\left[-\frac{t_0^2 \hat{T}^2}{2\theta_0^2(t_0^2 + \theta_0^2)}\right] - \right. \right. \\
 & \times \left. \left. \exp\left[-\frac{\theta_0^2 \hat{T}^2}{2\theta_0^2(t_0^2 + \theta_0^2)}\right] \right\} + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\hat{T} t_0 \theta_0}{(t_0^2 + \theta_0^2)^{3/2}} \exp\left[-\frac{\hat{T}^2}{2(t_0^2 + \theta_0^2)}\right] \times \\
 & \times \left\{ \left[ \operatorname{erf}\left[-\frac{t_0 \hat{T}}{\theta_0 \sqrt{2(t_0^2 + \theta_0^2)}}\right] \right] + \operatorname{erf}\left[-\frac{\theta_0 \hat{T}}{t_0 \sqrt{2(t_0^2 + \theta_0^2)}}\right] \right\}, \quad (10)
 \end{aligned}$$

where

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-z^2} dz \quad (11)$$

is the error function. When the most likely duration of landing,  $\theta_0$ , is very small compared to the most likely decision making time,  $t_0$ , the expression (10) yields

$$P_* = \exp\left(-\frac{\hat{T}^2}{2t_0^2}\right) \quad (12)$$

i.e., the probability that the total time of operation exceeds a certain time duration,  $\hat{T}$ , depends only on the most likely decision making time,  $t_0$ . From (12) we obtain

$$\frac{t_0}{\hat{T}} = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln P_*}} \quad (13)$$

If the acceptable probability,  $P_*$ , of exceeding the time,  $\hat{T}$  (e.g., the available time, if this time is treated as a non-random variable of the level  $\hat{T}$ ), is, say,  $P = 10^{-4} = 0.01\%$ , then the time of making the decision should not exceed  $0.2330 = 23.3\%$  of the time,  $\hat{T}$  (expected available time), otherwise the requirement  $P \leq 10^{-4} = 0.01\%$  will be compromised. If the available time is, say, 2 min, then the decision making time should not exceed 28 sec, which is in good agreement with Capt. Sullenberger's actual decision making time.



Similarly, when the most likely time,  $t_0$ , of decision making is very small compared to the most likely time,  $\theta_0$ , of actual landing, the formula (10) yields

$$P_* = \exp\left(-\frac{\hat{T}^2}{2\theta_0^2}\right) \quad (14)$$

i.e., the probability of exceeding a certain time level,  $\hat{T}$ , depends only on the most likely time,  $\theta_0$ , of landing.

As follows from the formulas (8), the probability that the actual time of decision making or the time of landing exceed the corresponding most likely times is expressed by the formulas of the types (12) and (14), and is as high as

$$P_* = \frac{1}{\sqrt{e}} = 0,6065 = 60,6\%. \text{ In this connection we would like to mention that}$$

the one-parametric Rayleigh law is characterized by a rather large standard deviation and therefore might not be the best approximation for the probability density functions for the decision making time and the time of landing. A more «powerful» and more flexible two-parametric law, such as, e.g., the Weibull law, might be more suitable as an appropriate probability distribution of the random times,  $t$  and  $\theta$ . Its use, however, will make our analysis unnecessarily more complicated. Our goal is not so much to «dot all the i's and cross all the t's», as far as modeling of the role the human factor in the problem in question is concerned, but rather to demonstrate that the attempt to use PRM methods to quantify the role of the human factor in avionics safety and similar problems might be quite fruitful. When developing practical guidelines and recommendations, a particular law of the probability distribution should be established based on the actual statistical data, and employment of various goodness-of-fit criteria (Pierson's, Kolmogorov's, etc.) might be needed in detailed statistical analyses.

When the most likely times  $t_0$  and  $\theta_0$  required for making the go-ahead decision and for the actual landing, are equal, the formula (10) yields:

$$P_* = P_*\left(\frac{t_0}{\hat{T}}, \frac{\theta_0}{\hat{T}}\right) = \exp\left(-\frac{\hat{T}^2}{2t_0^2}\right) \left[1 + \sqrt{\pi} \frac{\hat{T}}{2t_0} \exp\left(\left(\frac{\hat{T}}{2t_0}\right)^2\right) \operatorname{erf}\left(\frac{\hat{T}}{2t_0}\right)\right] \quad (15)$$

For large enough  $\frac{\hat{T}}{t_0}$  ratios  $\left(\frac{\hat{T}}{t_0} \geq 3\right)$  of the critical time  $\hat{T}$  to the

most likely decision making or landing time, the second term in the brackets becomes large compared to unity. The calculated probabilities of exceeding a certain time level,  $\hat{T}$ , based on the formula (15), are shown in Table 3. In the third row of this table we indicate, for the sake of comparison, the probabilities,

$P^\circ$ , of exceeding the given time,  $\hat{T}$ , when only the time  $t_0$  or only the time  $\theta_0$  is different from zero, i.e., for the special case that is mostly remote from the case  $t_0 = \theta_0$  of equal most likely times. Clearly, the probabilities computed for other possible combinations of the times  $t_0$  and  $\theta_0$  could be found between the calculated probabilities  $P_*$  and  $P^\circ$ . The following conclusions can be drawn from the Table 3 data:

- The probability that the total time of operation (the time of decision making and the time of landing) exceeds the given time level  $\hat{T}$ , thereby leading to a casualty, rapidly increases with an increase in the total time of operation;

The probability  $P_*$  that the operation time exceeds a certain time level  $\hat{T}$  vs the ratio  $\hat{T}/t_0$  of this time level to the most likely time  $t_0$  of decision making for the case when the time  $t_0$  and the most likely time  $\theta_0$  time of landing are the same. For the sake of comparison, the probability  $P^\circ$  of exceeding the time level  $\hat{T}$ , when either the time  $t_0$  or the time  $\theta_0$  is zero, is also indicated.

Table 3

$\hat{T}/t_0$	6	5	4	3	2
$P_*$	6.562E-4	8.553E-3	6.495E-2	1.914E-1	6.837E-1
$P^\circ$	1.523E-8	0.373E-5	0.335E-3	1.111E-2	1.353E-1
$P_*/P^\circ$	4.309E4	2.293E3	1.939E2	1.723E1	5.053

- The probability of exceeding the time level  $\hat{T}$  is considerably higher, when the most likely times of decision making and of landing are finite and especially when they are close to each other, in comparison with the situation when one of these times is significantly shorter than the other, i.e., zero or next-to-zero. This is particularly true for short operation times, like in the situation in question: the ratio  $P_*/P^\circ$  of the probability  $P_*$  of exceeding the time level  $\hat{T}$  in the case of  $t_0 = \theta_0$  to the probability  $P^\circ$  of exceeding this level in the case  $t_0 = \theta_0$  or in the case  $\theta_0 = 0$  decreases rapidly with an increase in the time of operation. There exists therefore a significant incentive for reducing the operation time. The importance of this intuitively obvious fact is quantified by the table data.

• Another useful information that could be drawn from the data of the type shown in Table 3 is whether it is possible at all to train a human to react (make a decision) in just a couple of seconds. It took Capt. Sullenberger about 30sec to make the right decision, and he is an exceptionally highly qualified pilot, with an outstanding HCF. If a very short-term decision could not be expected, and a low probability of human failure is still required, then one should decide on a broader involvement of more sophisticated, more powerful and more expensive equipment and instrumentation to do the job. If pursuing such an effort is decided upon, then probabilistic sensitivity analyses of the type developed above will be needed to determine the most promising ways to go. It is advisable, of course, that the analytical predictions are confirmed by computer-aided simulations and verified by highly focused and highly cost effective FOAT conducted on flight simulators.

**Probability that the landing time exceeds the «available» time.** Since the «available» time  $L$  is assumed to be a random normally distributed variable, the probability that this time is found below a certain level  $\hat{L}$  is

$$P_l = P_l\left(\frac{\sigma}{\hat{L}}, \frac{l_0}{\hat{L}}\right) = \int_{-\infty}^{\hat{L}} f_l(l) dl = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\hat{L} - l_0}{\sqrt{2}\sigma}\right) \right] = \left[ 1 + \operatorname{erf}\left(\frac{1 - \frac{l_0}{\hat{L}}}{\sqrt{2} \frac{\sigma}{\hat{L}}}\right) \right]. \quad (16)$$

The probability that the available time is exceeded can be determined by equating the times  $\hat{T} = \hat{L} = T$  and computing the product

$$P_A = P_*\left(\frac{t_0}{T}, \frac{\theta_0}{T}\right) P_l\left(\frac{\sigma}{T}, \frac{l_0}{T}\right) \quad (17)$$

of the probability,  $P_*\left(\frac{t_0}{T}, \frac{\theta_0}{T}\right)$ , that the time of operation exceeds a certain level,  $T$ , and the probability,  $P_l\left(\frac{\sigma}{T}, \frac{l_0}{T}\right)$ , that the available time is shorter than the time  $T$ . The formula (17) considers the roles of the most likely available time, the human factor,  $t_0$  (the most likely time required for the pilot to make his/her go-ahead decision), and the most likely time,  $\theta_0$ , of actual landing (which characterizes both the qualification and skills of the pilot and the qualities/behavior of the flying machine) on the probability of safe landing. Carrying out detailed computations based on the formulas (10), (16) and (17) is, however, beyond the scope of the present article.

«**Miracle-on-the-Hudson**»: incident. US Airways Flight 1549 was a domestic passenger flight from LaGuardia Airport (LGA) in New York City to Charlotte/Douglas International Airport, Charlotte, North Carolina. On January 15, 2009, the Airbus A320-214 flying this route struck a flock of Canada Geese during its initial climb out, lost engine power, and ditched in the Hudson River off midtown Manhattan. Since all the 155 occupants survived and safely evacuated the airliner, the incident became known as the «Miracle on the Hudson» [13; 14].

The bird strike occurred just northeast of the George Washington Bridge (GWB) about three minutes into the flight and resulted in an immediate and complete loss of thrust from both engines. When the crew determined that they would be unable to reliably reach any airfield, they turned southbound and glided over the Hudson, finally ditching the airliner near the USS *Intrepid* museum about three minutes after losing power. The crew was later awarded the Master's Medal of the Guild of Air Pilots and Air Navigators for successful «emergency ditching and evacuation, with the loss of no lives... a heroic and unique aviation achievement...the most successful ditching in aviation history.» The pilot in command was 57-year-old Capt. Chesley B. «Sully» Sullenberger, a former fighter pilot who had been an airline pilot since leaving the United States Air Force in 1980. He is also a safety expert and a glider pilot. The first officer was Jeffrey B. Skiles, 49. The flight attendants were Donna Dent, Doreen Welsh and Sheila Dail (Figure 3).

The aircraft was powered by two GE Aviation/Snecma-designed CFM56-5B4/P turbofan engines manufactured in France and the U.S. One of 74 A320s then in service in the US Airways fleet, it was built by Airbus with final assembly at its facility at Aéroport de Toulouse-Blagnac in France in June 1999 and delivered to the carrier on August 2, 1999.



Fig. 3. Captain Sullenberger and his magnificent crew

The Airbus is a digital fly-by-wire aircraft: the flight control surfaces are moved by electrical and hydraulic actuators controlled by a digital computer. The computer interprets pilot commands via input from a side-stick, making adjustments on its own to keep the plane stable and on course. This is particularly useful after engine failure by allowing the pilots to concentrate on engine restart and landing planning. The mechanical energy of the two engines is the primary source of electrical power and hydraulic pressure for the aircraft flight control systems. The aircraft also has an auxiliary power unit (APU), which can provide backup electrical power for the aircraft, including its electrically powered hydraulic pumps; and a ram air turbine (RAT), a type of wind turbine that can be deployed into the airstream to provide backup hydraulic pressure and electrical power at certain speeds. According to the NTSB [14], both the APU and the RAT were operating as the plane descended into the Hudson, although it was not clear whether the RAT had been deployed manually or automatically. The Airbus A320 has a «ditching» button that closes valves and openings underneath the aircraft, including the outflow valve, the air inlet for the emergency RAT, the avionics inlet, the extract valve, and the flow control valve. It is meant to slow flooding in a water landing. The flight crew did not activate the «ditch switch» during the incident Sullenberger later noted that it probably would not have been effective anyway, since the force of the water impact tore holes in the plane's fuselage much larger than the openings sealed by the switch.

First officer Skiles was at the controls of the flight when it took off at 3:25 pm, and was the first to notice a formation of birds approaching the aircraft about two minutes later, while passing through an altitude of about 2,700 feet (820 m) on the initial climb out to 15,000 feet (4,600 m). According to flight data recorder (FDR) data, the bird encounter occurred at 3:27:11, when the airplane was at an altitude of 2,818 feet (856m) above ground level (agl) and at a distance of about 4.5 miles north-northwest of the approach end of runway 22 at LGA. Subsequently, the airplane's altitude continued to increase while the airspeed decreased, until 3:27:30, when the airplane reached its highest altitude of about 3,060 feet (930 m), at an airspeed of about 185 kts calibrated airspeed (KCAS). The altitude then started to decrease as the airspeed started to increase, reaching 210 KCAS at 3:28:10 at an altitude of about 1,650 feet (500 m) The windscreen quickly turned dark brown and several loud thuds were heard. Capt. Sullenberger took the controls, while Skiles began going through the three-page emergency procedures checklist in an attempt to restart the engines.

At 3:27:36 the flight radioed air traffic controllers at New York Terminal Radar Approach Control (TRACON) «Hit birds. We've lost thrust on both engines. We're turning back towards LaGuardia» Responding to the captain's report of a bird strike, controller Patrick Harten, who was working the departure position told LaGuardia tower to hold all waiting departures on the ground, and gave Flight 1549 a heading to return to LaGuardia. Sullenberger responded that he was unable.

Sullenberger asked if they could attempt an emergency landing in New Jersey, mentioning Teterboro Airport in Bergen County as a possibility; air traffic controllers quickly contacted Teterboro and gained permission for a landing on runway 1. However, Sullenberger told controllers that «We can't do it», and that «We're gonna be in the Hudson», making clear his intention to bring the plane down on the Hudson River due to a lack of altitude. Air traffic control at LaGuardia reported seeing the aircraft pass less than 900 feet (270 m) above GWB. About 90 seconds before touchdown, the captain announced, «Brace for impact», and the flight attendants instructed the passengers how to do so. The plane ended its six-minute flight at 3:31 pm with an unpowered ditching while heading south at about 130 knots (150 mph; 240 km/h) in the middle of the North River section of the Hudson River roughly abeam 50th Street (near the Intrepid Sea-Air-Space Museum) in Manhattan and Port Imperial in Weehawken, New Jersey (Figure 4). Sullenberger said in an interview on CBS television that his training prompted him to choose a ditching location near operating boats so as to maximize the chance of rescue. After coming to a stop in the river, the plane began drifting southward with the current.

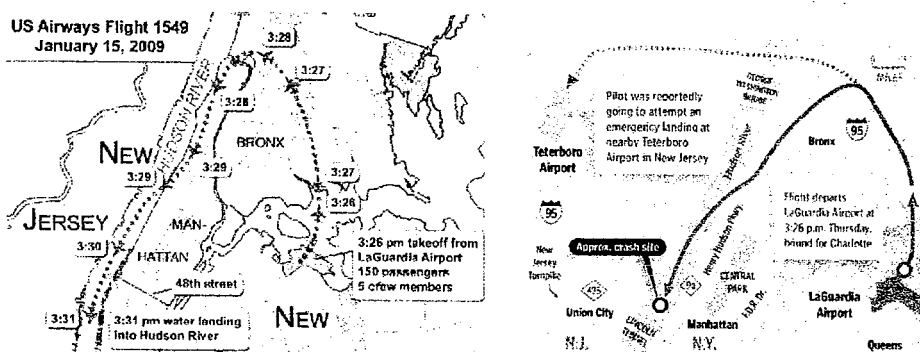


Fig. 4. Flightpath flown ( — ). Alternative trajectories to Teterboro ( ..... ) and back toward La Guardia were simulated for the investigation

National Transportation Safety Board (NTSB) Member Kitty Higgins, the principal spokesperson for the on-scene investigation, said at a press conference the day after the accident that it «has to go down [as] the most successful ditching in aviation history... These people knew what they were supposed to do and they did it and as a result, nobody lost their life» (Figure 5). The flight crew, particularly Captain Sullenberger, were widely praised for their actions during the incident, notably by New York City Mayor Michael Bloomberg and New York State Governor David Paterson, who opined, «We had a *Miracle on 34th Street*. I believe now we have had a *Miracle on the Hudson*» Outgoing U.S. President George W. Bush said he was «inspired by the skill and heroism of the flight crew», and he also praised the emergency responders and volunteers. Then President-elect Barack Obama said that

everyone was proud of Sullenberger's «heroic and graceful job in landing the damaged aircraft», and thanked the A320's crew.

National Transportation Safety Board (NTSB) Member Kitty Higgins, the principal spokesperson for the on-scene investigation, said at a press conference the day after the accident that it «has to go down [as] the most successful ditching in aviation history... These people knew what they were supposed to do and they did it and as a result, nobody lost their life» (Figure 5).

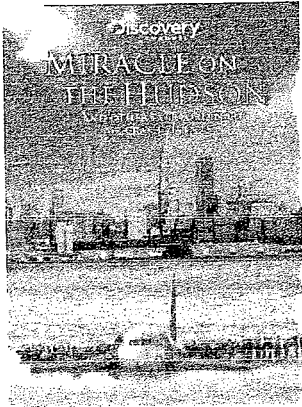


Fig. 5. «Miracle-on-the-Hudson»: ditched aircraft

The flight crew, particularly Captain Sullenberger, were widely praised for their actions during the incident, notably by New York City Mayor Michael Bloomberg and New York State Governor David Paterson, who opined, «We had a *Miracle on 34th Street*. I believe now we have had a *Miracle on the Hudson*» Outgoing U.S. President George W. Bush said he was «inspired by the skill and heroism of the flight crew», and he also praised the emergency responders and volunteers. Then President-elect Barack Obama said that everyone was proud of Sullenberger's «heroic and graceful job in landing the damaged aircraft», and thanked the A320's crew.

The NTSB ran a series of tests using Airbus simulators in France, to see if Flight 1549 could have returned safely to LaGuardia. The simulation started immediately following the bird strike and «...knowing in advance that they were going to suffer a bird strike and that the engines could not be restarted, four out of four pilots were able to turn the A320 back to LaGuardia and land on Runway 13» When the NTSB later imposed a 30-second delay before they could respond, in recognition that it wasn't reasonable to expect a pilot to assess the situation and react instantly, all four pilots crashed.

On May 4, 2010, the NTSB released a statement which credited the accident outcome to the fact that the aircraft was carrying safety equipment in excess of that mandated for the flight, and excellent cockpit resource management among the flight crew. Contributing factors to the survivability of the accident were good visibility, and fast response from the various ferry

operators. Captain Sullenberger's decision to ditch in the Hudson River was validated by the NTSB. On May 28, 2010, the NTSB published its final report into the accident [14]. It determined the cause of the accident to be «the ingestion of large birds into each engine, which resulted in an almost total loss of thrust in both engines».

«**Miracle-on-the-Hudson**»: **flight segments (events)**. The US AW Flight 1549 events (segments) and durations are summarized (listed) in Table 4. It took only 40sec for the Captain Sullenberger to make his route change decision and another 2min to land the aircraft.

*Table 4*

*US AW Flight 1549, January 15, 2009 (Wikipedia)*

Flight segment	Time (EST)	Duration, sec., %	Altitude	Speed	Event
1	3:25:00 pm	60.00 (16.6667)	0	279.6 km/h	Aircraft took off LGA and started climbing out. First officer Skiles runs the aircraft
2	3:26:00 pm	71.00 (19.7222)	820 m	-	Skiles noticed a flock of birds
3	3:27:11 pm	19.00 (5.2778)	856 m	322.2 km/h	Bird strike (North-East of GWB, NYC)
4	3:27:30 pm	6.00 (1.6667)	930 m	342.6 km/h	Highest altitude reached
5	3:27:36 pm	24.00 (6.6667)	-	359.3 km/h	Radioed TRACON traffic controllers: «Hit birds. Lost thrust on both engines. Turning back towards LGA»
6	3:28:00 pm	10.00 (2.7778)	609 m	374.1 km/h	Complete loss of thrust (engine power)
7	3:28:10 pm	30.00 (8.3333)	500 m	388.9 km/h	Sullenberger takes over control
8	3:28:40 pm	20.00 (5.5555)	500 m	388.9 km/h	Sullenberger makes route change decision and turns southbound
9	3:29:00 pm	10.00 (2.7778)	396 m	353.7 km/h	Started gliding over Hudson River
10	3:29:10 pm	90.00 (25.0000)	-	-	«Brace for impact» command
11	3:30:40 pm	20.00 (5.5555)	0	240 km/h	Touch down (ditching) Hudson River
12	3:31:00 pm	-	0	0	Full stop, start drifting



«Miracle-on-the-Hudson»: quantitative aftermath. In this section we intend to demonstrate how the «miracle-on-the-Hudson» event could be quantified using the DEPDF based evaluations.

**Sullenberger's HCF.** Sullenberger's HCF is computed in Table 5. The calculations of the probability of the human non-failure are carried out using formula (2) and are shown in Table 6.

Table 5

*Sullenberger's HCF*

№	Relevant qualities	Relative HCF Rating $\left(\frac{F^*}{F_0}\right)$	Comments
1	psychological suitability for the given task;	3.2	1) 57 years old former fighter pilot who had been a commercial airline pilot since leaving the US Air Force in 1980. He is also a safety expert and a glider pilot [7]. See also Appendix B. «I was sure I could do it». «The entire life up to this moment was a preparation for this moment». «I am not just a pilot of that flight. I am also a pilot who has flown for 43 years...»  2) Probability of human non-failure in normal flight conditions is assumed to be 100 %  3) The formula $p = \exp\left(1 - \frac{G^2}{G_0^2}\right)$
2	professional qualifications and experience;	3.9	
3	level, quality and timeliness of past and recent training;	2.0	
4	mature (realistic) and independent thinking;	3.2	
5	performance sustainability (predictability, consistency)	3.2	
6	ability to concentrate and act in cold blood («cool demeanor») in hazardous and even in life threatening situations;	3.3	
7	ability to anticipate («expecting the unexpected»);	3.2	
8	ability to operate effectively under pressure	3.4	
9	self-control in hazardous situations	3.2	
10	ability to make a substantiated decision in a short period of time («we are going to be in the Hudson»)	2.8	
Average FOM		3.14	would have to be used to evaluate the probability of non-failure in the case of a pilot of ordinary skills. The computed numbers are shown in parentheses. The computed numbers show that such a pilot would definitely fail in the off-normal situation in question

\*) This is just an example that shows that the approach makes physical sense. Actual numbers should be obtained using FOAT on a simulator and confirmed by an independent approach, such as, say, Delphi method: [http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi_method) [12]

Table 6

*Computed probabilities of human non-failure (Captain Sullenberger)*

$G/G_0$	5	10	50	100	150
$p$	0.9966	0.9860	0.7013	0.2413	0.0410

We did not try to anticipate and quantify a particular (most likely) MWL level, but rather assumed different MWL deviations from the most likely level. A more detailed MWL analysis can be done using flight simulation FOAT data. The computed data indicate that, as long as the HCF is high (and Capt. Sullenberger's HCF was/is exceptionally high), even significant relative MWL levels, up to 50 or even higher, still result in a rather high probability of the human non-failure.

Capt. Sullenberger's HCF is/was extraordinarily, exceptionally high. This was due to his age, old enough to be an experienced performer and young enough to operate effectively in a cool demeanor under pressure and possess other qualities of a relatively young human. As evident from the computed data, the probability of human non-failure in off-normal flight conditions is still relatively high, provided that the HCF is significantly higher than that of a pilot of normal skills in the profession and that the MWL is not extraordinarily (perhaps, unrealistically) high. So, the actual «miraculous» event was due to the fact that a person of extraordinary abilities (measured by the level of the HCF) turned out to be in the driving chair at the critical moment. Other favorable aspects of the situation were high HCF of the crew, good weather and the landing site, perhaps the most favorable one could imagine. As long as this miracle did happen, everything else was not really a miracle. Captain Sullenberger knew when to take over control of the aircraft, when to abandon his communications with the (generally speaking, excellent) ATCs and to use his outstanding background and skills to land (ditch) the plane: «I was sure I could do it...the entire life up to this moment was a preparation for this moment...I am not just a pilot of that flight. I am also a pilot who has flown for 43 years...» Such a «miracle» does not happen often, of course, and is perhaps outside any indicative statistics.

***Flight attendant's HCF estimate: example.*** The HCF of a flight attendant is assessed in Table 7, and the probabilities of his/her non-failure are shown in Table.8. The qualities expected from a flight-attendant are, of course, quite different of those of a pilot. As evident from the obtained data, the probability of the human non-failure of the airbus A-320 flight attendants is rather high up until the MWL ratio of 10 or even slightly higher.

Although we do not try to evaluate the first officer's Skiles' HCF, we assume that his HCF is also high, although this did not manifest itself during the event. It has been shown elsewhere [10] that it is expected that both pilots have high and, to an extent possible, equal qualifications and skills for a high probability of a mission success, if, for one reason or another, the entire MWL is taken by one of the pilots. In this connection we would like to mention that, even regardless of the qualification, it is widely accepted in the avionic and maritime practice that it is the captain, not the first officer (first mate) gets in control of a dangerous situations, especially life threatening ones. It did not happen, however, in the case of the Swiss-Air «UN-shuttle» last flight addressed in the next section.

«UN-shuttle» flight: crash. For the sake of comparison of the successful miracle-on-the-Hudson case with an emergency situation that ended up in a crash, we have chosen the infamous Swiss Air September 2, 1998, Flight 111, when a highly trained crew made several bad decisions under considerable time pressure [15] that was, however, not as severe as in the miracle-on-the-Hudson case. Swissair Flight 111 was a McDonnell Douglas MD-11 on a scheduled airline flight from John F. Kennedy (JFK) International Airport in New York City, US to Cointrin International Airport in Geneva, Switzerland. On Wednesday, September 2, 1998, the aircraft crashed into the Atlantic Ocean southwest of Halifax International Airport at the entrance to St. Margaret's Bay, Nova Scotia. The crash site was just 8 km (5.0 nm) from shore. All 229 people on board died – the highest death toll of any aviation accident involving a McDonnell Douglas MD-11. Swissair Flight 111 was known as the «U.N. shuttle» due to its popularity with United Nations officials; the flight often carried business executives, scientists, and researchers.

Table 7

*Flight attendant's HCF*

№	Relevant qualities	Relative HCF $\left(\frac{F^*}{F_0}\right)$
1	psychological suitability for the task	2,5
2	professional qualifications and experience	2,5
3	level, quality and timeliness of past and recent training	2,5
4	team-player attitude	3,0
5	performance sustainability (consistency)	3,0
6	ability to perform in cold blood in hazardous and even in life threatening situations	3,0
7	ability and willingness to follow orders	3,0
8	ability to operate effectively under pressure	3,4
	Average FOM	2,8625

\*) It is just an example. Actual numbers should be obtained using FOAT on a simulator and confirmed by an independent method, such as, say, Delphi method: [http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi_method) [12]

Table 8

*Estimated probabilities of non-failure for a flight attendant*

$G/G_0$	5	10	50	100	150
$p$	0.9821	0.9283	0.1530	5.47E-4	4.57E-8

The initial search and rescue response, crash recovery operation, and resulting investigation by the Government of Canada took over four years. The Transportation Safety Board (TSB) of Canada's official report stated that

flammable material used in the aircraft's structure allowed a fire to spread beyond the control of the crew, resulting in the loss of control and crash of the aircraft. An MD-11 has a standard flight crew consisting of a captain and a first officer, and a cabin crew made up of a maître-de-cabine (M/C – purser) supervising the work of 11 flight attendants. All personnel on board Swissair Flight 111 were qualified, certified and trained in accordance with Swiss regulations, under the Joint Aviation Authorities (JAA).

The flight details are shown in Table 9. The flight took off from New York's JFK Airport at 20:18 Eastern Standard Time (EST). Beginning at 20:33 EST and lasting until 20:47, the aircraft experienced an unexplained thirteen-minute radio blackout. The cause of the blackout, or if it was related to the crash, is unknown. At 22:10 Atlantic Time (21:10 EST), cruising at FL330 (approximately 33,000 feet or 10,100 meters), Captain Urs Zimmermann and First Officer Stephan Loew detected an odor in the cockpit and determined it to be smoke from the air conditioning system, a situation easily remedied by closing the air conditioning vent, which a flight attendant did on Zimmermann's request. Four minutes later, the odor returned and now smoke was visible, and the pilots began to consider diverting to a nearby airport for the purpose of a quick landing. At 22:14 AT (21:14 EST) the flight crew made a radio call to air-traffic control (ATC) at Moncton (which handles trans-atlantics air traffic approaching or departing North American air space), indicating that there was an urgent problem with the flight, although not an emergency, which would imply immediate danger to the aircraft. The crew requested a diversion to Boston's Logan International Airport, which was 300 nautical miles (560 km) away. ATC Moncton offered the crew a vector to the closer, 66 nm (104 km) away, Halifax International Airport in Enfield, Nova Scotia, which Loew accepted. The crew then put on their oxygen masks and the aircraft began its descent. Zimmermann put Loew in charge of the descent, while he personally ran through the two Swissair standard checklists for smoke in the cockpit, a process that would take approximately 20 minutes and become a later source of controversy.

*Table 9*

*Swiss Air Flight 111, September 2, 1998 (Wikipedia)*

Flight segment	Time (EST)	Event
1	20:18:00	Aircraft took off JFK airport. First officer Stephan Loew runs the aircraft
2	20:33-20:47	Radio blackout
3	21:10	Captain Urs Zimmermann and first officer Stephan Loew detected an odor in the cockpit and determined it to be smoke from the air conditioning system, a situation easily remedied by closing the air conditioning vent, which a flight attendant did on Zimmermann's request

*Table 9. Continuid*

4	21:14	Odor returned and smoke became visible. The crew called ATC Moncton indicating an urgent, but not an emergency, problem, and requested a diversion to Boston's Logan Airport, which was 300 nm (560 km) away. ATC Moncton offered a vector to the closer Halifax Airport in Enfield, Nova Scotia, 66 nm (104 km) away, which Loew accepted.
5	21:14-21:34	The crew put on oxygen masks and the aircraft began to descent. Zimmermann put Loew in charge of the descent, while he ran through the Swissair checklists for smoke in the cockpit, a process that become later a source of controversy.
6	21:18	ATC Moncton handed over traffic control of Swissair 111 to ATC Halifax.
7	21:19	The plane was 30 nm (56 km) away from Halifax Airport, but Loew requested more time to descend the plane from its altitude of 6,400 m.
8	21:20	Loew informed ATC Halifax that he needed to dump fuel. ATC Halifax said later it was a surprise, because the request came so late. Dumping fuel was a fairly standard procedure early on in nearly any «heavy» aircraft urgent landing scenario. Subsequently, ATC Halifax diverted aircraft toward St. Margaret's Bay, where they could more safely dump fuel, but still be only around 30 nm (56 km) from Halifax.
9	21:24:28	In accordance with the Swissair «In case of smoke of unknown origin» checklist, the crew shut off the power supply in the cabin. This caused the re-circulating fans to shut off. This caused a vacuum, which induced the fire to spread back into the cockpit. This also caused the autopilot to shut down. Loew informed ATC Halifax that «we now must fly manually.»
10	21:24:45	Loew informed ATC Halifax that «Swissair 111 is declaring emergency»
11	21:24:46	Loew repeated the emergency declaration one second later, and over the next 10 seconds stated that they had descended to «between 12,000 and 5,000 feet» and once more declared an emergency.
12	21:25:40	The flight data recorder stopped recording, followed one second later by the cockpit voice recorder.
13	21:25:50– 21:26:04	The doomed plane briefly showed up again on radar screens. Its last recorded altitude was 9,700 feet. Shortly after the first emergency declaration, the captain could be heard leaving his seat to fight the fire, which was now spreading to the rear of the cockpit.

At 22:18 AT (21:18 EST), ATC Moncton handed over traffic control of Swissair 111 to ATC Halifax, since the plane was now going to land in Halifax rather than leave North American air space. At 22:19 AT (21:19 EST) the plane was 30 nautical miles (56 km) away from Halifax International Airport, but Loew requested more time to descend the plane from its altitude of 21,000 feet (6,400 m). At 22:20 AT (21:20 EST), Loew informed ATC Halifax that he needed to dump fuel, which ATC Halifax controllers would say later, was a surprise considering that the request came so late; dumping fuel is a fairly standard procedure early on in nearly any «heavy» aircraft urgent landing scenario. ATC Halifax subsequently diverted Swissair 111 toward St. Margaret's Bay, where they could more safely dump fuel, but still be only around 30 nautical miles (56 km) from Halifax.

In accordance with the Swissair checklist entitled «In case of smoke of unknown origin», the crew shut off the power supply in the cabin, which caused the re-circulating fans to shut off. This caused a vacuum, which induced the fire to spread back into the cockpit. This also caused the autopilot to shut down; at 22:24:28 AT (21:24:28 EST), Loew informed ATC Halifax that «we now must fly manually». Seventeen seconds later, at 22:24:45 AT (21:24:45 EST), Loew informed ATC Halifax that «Swissair 111 heavy is declaring emergency», repeated the emergency declaration one second later, and over the next 10 seconds stated that they had descended to «between 12,000 and 5,000 feet» and once more declared an emergency. The flight data recorder stopped recording at 22:25:40 AT (21:25:40 EST), followed one second later by the cockpit voice recorder. The doomed plane briefly showed up again on radar screens from 22:25:50 AT (21:25:50 EST) until 22:26:04 AT (21:26:04 EST). Its last recorded altitude was 9,700 feet. Shortly after the first emergency declaration, the captain could be heard leaving his seat to fight the fire, which was now spreading to the rear of the cockpit. The Swissair volume of checklists was later found fused together, as if someone had been trying to use them to fan back flames. The captain did not return to his seat, and whether he was killed from the fire or asphyxiated by the smoke is not known. However, physical evidence provides a strong indication that First Officer Loew may have survived the inferno only to die in the eventual crash; instruments show that Loew continued trying to fly the now-crippled aircraft, and gages later indicated that he shut down engine two approximately one minute before impact, implying he was still alive and at the controls until the aircraft struck the ocean at 22:31 AT (21:31 EST). The aircraft disintegrated on impact, killing all on board instantly.

The search and rescue operation was launched immediately by Joint Rescue Coordination Centre Halifax (JRCC Halifax) which tasked the Canadian Forces Air Command, Maritime Command and Land Force Command, as well as Canadian Coast Guard (CCG) and Canadian Coast Guard Auxiliary (CCGA) resources. The first rescue resources to approach the crash site were Canadian Coast Guard Auxiliary volunteer units—mostly privately owned fishing boats – sailing from Peggy's Cove, Bayswater and other harbors on

St. Margaret's Bay and the Aspotogan Peninsula. They were soon joined by the dedicated Canadian Coast Guard SAR vessel CCGS *Sambro* and CH-113 Labrador SAR helicopters flown by 413 Squadron from CFB Greenwood.

The investigation identified eleven causes and contributing factors of the crash in its final report. The first and most important was: «Aircraft certification standards for material flammability were inadequate in that they allowed the use of materials that could be ignited and sustain or propagate fire. Consequently, flammable material propagated a fire that started above the ceiling on the right side of the cockpit near the cockpit rear wall. The fire spread and intensified rapidly to the extent that it degraded aircraft systems and the cockpit environment, and ultimately led to the loss of control of the aircraft».

Arcing from wiring of the in-flight entertainment system network did not trip the circuit breakers. While suggestive, the investigation was unable to confirm if this arc was the «lead event» that ignited the flammable covering on MPET insulation blankets that quickly spread across other flammable materials. The crew did not recognize that a fire had started and were not warned by instruments. Once they became aware of the fire, the uncertainty of the problem made it difficult to address. The rapid spread of the fire led to the failure of key display systems, and the crew were soon rendered unable to control the aircraft. Because he had no light by which to see his controls after the displays failed, the pilot was forced to steer the plane blindly; intentionally or not, the plane swerved off course and headed back out into the Atlantic. Recovered fragments of the plane show that the heat inside the cockpit became so great that the ceiling started to melt.

The recovered standby attitude indicator and airspeed indicator showed that the aircraft struck the water at 300 knots (560 km/h, 348 mph) in a 20 degrees nose down and 110 degree bank turn, or almost upside down. Less than a second after impact the plane would have been totally crushed, killing all aboard almost instantly. The TSB concluded that even if the crew had been aware of the nature of the problem, the rate at which the fire spread would have precluded a safe landing at Halifax even if an approach had begun as soon as the «pan-pan-pan» was declared. The plane was broken into two million small pieces by the impact, making this process time-consuming and tedious. The investigation became the largest and most expensive transport accident investigation in Canadian history.

**Swiss Air Flight 111: segments (events) and crew errors.** The Swiss Air Flight 111 events (segments) and durations are summarized in Table 9. The following more or less obvious errors were made by the crew:

- At 21:14 EST they used poor judgment and underestimated the danger by indicating to the ATC Moncton that the returned odor and visible smoke in the cockpit was an urgency, but not an emergency problem. They requested a diversion to the 300 nm (560 km) away Boston Logan Airport, and not to the closest 66nm (104 km) away Halifax Airport.

- Captain Zimmermann put first officer Loew in charge of the descent and spent time for running through the Swissair checklist for smoke in the cockpit.

- At 21:19 EST Loew requested more time to descend the plane from its altitude of 6,400 m, although the plane was only 30 nm (56 km) away from Halifax Airport.

- At 21:20 EST Loew informed ATC Halifax that he needed to dump fuel. As ATC Halifax indicated later, it was a surprise, because the request came too late. In addition, it was doubtful that such a measure was needed at all.

- At 21:24:28 the crew shut off the power supply in the cabin. That caused the re-circulating fans to shut off and caused a vacuum, which induced the fire to spread back into the cockpit. This also caused the autopilot to shut down, and Loew had to «fly manually». In about a minute or so the plane crashed.

Theses errors are reflected in the Table 10 score sheet and resulted in a rather low HCF and low probability of the assessed human non-failure.

*Table 10*

*Flight 111 pilot's HCF*

№	Relevant qualities	HCF $\left(\frac{F^*}{F_0}\right)$
1	psychological suitability for the given task;	3.0
2	professional qualifications and experience;	3.0
3	level, quality and timeliness of past and recent training;	2.0
4	mature (realistic) and independent thinking;	1.0
5	performance sustainability (consistency)	2.0
6	ability to concentrate and to act in cold blood in hazardous situations;	1.5
7	ability to anticipate (“expecting the unexpected”);	1.2
8	ability to operate effectively under pressure	1.5
9	self-control in hazardous situations	2.0
10	ability to make a substantiated decision in a short period of time	1.2
	Average FOM	1.84
*) It is just an example. Actual numbers should be obtained using FOAT on a simulator and confirmed by an independent method, such as, say, Delphi method: <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi_method">http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi_method</a> [12]		



**Flight 111 pilot's HCF.** Flight 111 pilot's HCF and the probability of human non-failure are summarized in Table 10. The criteria used are the same as in Table 5 above. The probabilities of human non-failure are shown in Table 11.

*Table 11*

*Computed probabilities of human non-failure (Swiss Air pilot)*

$G / G_0$	5	10	50	100
$p$	0.1098	1.1945E-4	0	0

The computed probability of non-failure is very low even at a non-very high MWL levels. Although the crew's qualification seems to be adequate, the qualities № 4, 6, 7, 8 and 10, which were particularly critical in the situation in question, turned out to be extremely low. No wonder that it led to a crash.

### Conclusions

- Application of quantitative probabilistic risk management (PRM) approach should complement, whenever feasible and possible, the existing vehicular psychology practices that are, as a rule, qualitative assessments of the role of the human factor when addressing the likelihood of success and safety of various vehicular missions and situations.

- It has been the high human capacity factor (HCF) of the aircraft crew and especially of Capt. Sullenberger's that made a reality what seemed to be a «miracle». The carried out PRM-based analysis enables one to quantify this fact. In effect, it has been a «miracle» that an outstanding individual like Capt. Sullenberger turned out to be in control at the time of the incident and that the weather was highly favorable. As long as this took place, nothing else could be considered as a «miracle»: the likelihood of safe landing with an individual like Capt. Sullenberger in the cockpit was rather high.

- The taken PRM based approach, after the trustworthy input information is obtained using FOAT on a simulator and confirmed by an independent approach, such as, say, Delphi method, is applicable to many other human-in-the-loop (HITL) situations, well beyond the situation in question and perhaps even beyond the vehicular domain.

- Although the obtained numbers make physical sense, it is the approach, not the numbers that is, in the author's opinion, the merit of the paper.

**Acknowledgement.** The author acknowledges, with thanks, useful comments and suggestions made by Dr. Amy Pritchett, Georgia Tech.

## Appendix A

### Other reported water landings (ditchings) of passenger airplanes

- On 11 July 2011, Angara Airlines Flight 5007 (an Antonov An-24) ditched in the Ob River near Strezhevoy, Russia, after an engine fire. Upon water contact the tail separated and the burnt port engine became detached from its mounts. Otherwise the plane remained intact, but was written off. Out of 37 people on board, including four crew and 33 passengers, 7 passengers died. Of the survivors, at least 20 were hospitalized with various injuries.
- On 6 June 2011, a Solenta Aviation Antonov An-26 freighter flying for DHL Aviation ditched in the Atlantic Ocean near Libreville, Gabon. Three crew and one passenger were rescued with minor injuries.
- On 22 October 2009, a Divi Divi Air Britten-Norman Islander operating Divi Divi Air Flight 014 ditched in off the coast of Bonaire after its starboard engine failed. The pilot reported that the aircraft was losing 200 feet per minute after choosing to fly to an airport. All 9 passengers survived, but the captain was knocked unconscious and although some passengers attempted to free him, he drowned and was pulled down with the aircraft.
- On 6 August 2005, Tuninter Flight 1153 (an ATR 72) ditched off the Sicilian coast after running out of fuel. Of 39 aboard, 23 survived with injuries. The plane's wreck was found in three pieces.
- On 16 January 2002, Garuda Indonesia Flight 421 (a Boeing 737) successfully ditched into the Bengawan Solo River near Yogyakarta, Java Island after experiencing a twin engine flameout during heavy precipitation and hail. The pilots tried to restart the engines several times before making the decision to ditch the aircraft. Photographs taken shortly after evacuation show that the plane came to rest in knee-deep water. Of the 60 occupants, one flight attendant was killed.
- On 23 November 1996, Ethiopian Airlines Flight 961 (a Boeing 767-260 ER), ditched in the Indian Ocean near Comoros after being hijacked and running out of fuel, killing 125 of the 175 passengers and crew on board. Unable to operate flaps, it impacted at high speed, dragging its left wingtip before tumbling and breaking into three pieces. The panicking hijackers were fighting the pilots for the control of the plane at the time of the impact, which caused the plane to roll just before hitting the water, and the subsequent wingtip hitting the water and breakup are a result of this struggle in the cockpit. Some passengers were killed on impact or trapped in the cabin when they inflated their life vests before exiting. Most of the survivors were found hanging onto a section of the fuselage that remained floating.
- On 2 May 1970, ALM Flight 980 (a McDonnell Douglas DC-9-33CF), ditched in mile-deep water after running out of fuel during multiple attempts to land at Princess Juliana International Airport on the island of Saint Maarten in the Netherlands Antilles under low-visibility weather. Insufficient warning to the cabin resulted in several passengers and crew still either

standing or with unfastened seat belts as the aircraft struck the water. Of 63 occupants, 40 survivors were recovered by U.S. military helicopters.

- On 21 August 1963, an Aeroflot Tupolev Tu-124 ditched into the Neva River in Leningrad (now St. Petersburg) after running out of fuel. The aircraft floated and was towed to shore by a tugboat which it had nearly hit as it came down on the water. The tug rushed to the floating aircraft and pulled it with its passengers near to the shore, where the passengers disembarked onto the tug; all 52 on board escaped without injuries.

- On 23 September 1962, Flying Tiger Line Flight 923, a Lockheed 1049H-82 Super Constellation N6923C, passenger aircraft, on a military (MATS) charter flight, with a crew of 8 and 68 U.S. civilian and military (paratrooper) passengers ditched in the North Atlantic about 500 miles west of Shannon, Ireland after losing three engines on a flight from Gander, Newfoundland to Frankfurt, West Germany. 45 of the passengers and 3 crew were rescued, with 23 passengers and 5 crew members being lost in the storm-swept seas. All occupants successfully evacuated the airplane. Those who were lost succumbed in the rough seas.

- In October 1956, Pan Am Flight 6 (a Boeing 377) ditched northeast of Hawaii, after losing two of its four engines. The aircraft was able to circle around USCGC *Pontchartrain* until daybreak, when it ditched; all 31 on board survived.

- In April 1956, Northwest Orient Airlines Flight 2 (also a Boeing 377) ditched into Puget Sound after what was later decided to be caused by failure of the crew to close the cowl flaps on the plane's engines. All aboard escaped the aircraft after a textbook landing, but four passengers and one flight attendant succumbed either to drowning or to hypothermia before being rescued.

- On 26 March 1955, Pan Am Flight 845/26 ditched 35 miles from the Oregon coast after an engine tore loose. Despite the tail section breaking off during the impact the aircraft floated for twenty minutes before sinking. Survivors were rescued after a further 90 minutes in the water.

- On 19 June 1954, Swissair Convair CV-240 HB-IRW ditched into the English Channel because of fuel starvation, which was attributed to pilot error. All three crew and five passengers survived the ditching and could escape the plane. However, three of the passengers could not swim and eventually drowned, because there were no life jackets on board, which was not prescribed at the time.

- On 3 August 1953, Air France Flight 152, a Lockheed L-749A Constellation ditched 6 miles from Fetiye Point, Turkey 1,5 miles offshore into the Mediterranean Sea on a flight between Rome, Italy and Beirut, Lebanon. The propeller had failed due to blade fracture. Due to violent vibrations, engine number three broke away and control of engine number four was lost. The crew of eight and all but four of the 34 passengers were rescued.

- On 16 April 1952, the de Havilland Australia DHA-3 Drover VH-DHA operated by the Australian Department of Civil Aviation<sup>[26]</sup> with 3

occupants was ditched in the Bismarck Sea between Wewak and Manus Island. The port propeller failed, a propeller blade penetrated the fuselage and the single pilot was rendered unconscious; the ditching was performed by a passenger.

- On 11 April 1952, Pan Am Flight 526A ditched 11.3 miles northwest of Puerto Rico due to engine failure after take off. Many survived the initial ditching but panicking passengers refused to leave the sinking wreck and drowned. 52 passengers were killed, 17 passengers and crew members were rescued by the USCG. After this accident it was recommended to implement pre-flight safety demonstrations for over-water flights.

### **Appendix B** **Captain Sullenberger**

Sullenberger was born to a dentist father – a descendant of Swiss immigrants named Sollenberger – and an elementary school teacher mother. He has one sister, Mary Wilson. The street on which he grew up in Denison, Texas, was named after his mother's family, the Hannas. According to his sister, Sullenberger built model planes and aircraft carriers during his childhood, and might have become interested in flying after hearing stories about his father's service in the United States Navy. He went to school in Denison, and was consistently in the 99th percentile in every academic category. At the age of 12, his IQ was deemed high enough to join Mensa International. He also gained a pilot's license at 14. In high school he was the president of the Latin club, a first chair flute, and an honor student. His high school friends have said that Sullenberger developed a passion for flying from watching jets based out of Perrin Air Force Base.

### **REFERENCES**

1. Reason J.T. *Human Error* / Cambridge University Press. – Cambridge. – UK. – 1990.
2. Kern A.T. *Controlling Pilot Error: Culture, Environment, and CRM (Crew Resource Management)* / McGraw-Hill. – 2001.
3. O'Neil W.A. *The Human Element in Shipping / Keynote Address, Biennial Symp. of the Seafarers International Research Center.* – Cardiff, Wales. – June 29, 2001.
4. Foyle D.C., Hooley B.L., *Human Performance Modeling in Aviation.* – CRC Press. – 2008.
5. Harris D. *Human Performance on the Flight Deck* / Bookpoint Ltd., Ashgate Publishing. – Oxon, UK. – 2011.
6. Hollnagel E. *Human Reliability Analysis: Context and Control* / Academic Press, London and San Diego. – 1993.
7. Reason J.T. *Managing the Risks of Organizational Accidents* / Ashgate Publishing Company. – 1997.

8. *Suhir E. Applied Probability for Engineers and Scientists / McGraw-Hill. – New York. – 1997.*
9. *Suhir E. Helicopter-Landing-Ship: Undercarriage Strength and the Role of the Human Factor / ASME OMAE Conference. – June 1-9. – 2009. – Honolulu, Hawaii.*
10. *Suhir E., Mogford R.H. Two Men in a Cockpit: Probabilistic Assessment of the Likelihood of a Casualty if One of the Two Navigators Becomes Incapacitated // Journal of Aircraft. – Vol. 48. – № 4. – July-August. – 2011.*
11. *Suhir E. Human-in-the-Loop: Likelihood of a Vehicular Mission-Success-and-Safety, and the Role of the Human Factor // Paper ID 1168, 2011 IEEE/AIAA Aerospace Conference. – Big Sky, Montana. – March 5-12. – 2011.*
12. [http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi_method)
13. [http://en.wikipedia.org/wiki/US\\_Airways\\_Flight\\_1549](http://en.wikipedia.org/wiki/US_Airways_Flight_1549)
14. <http://www.nts.gov/doclib/reports/2010/AAR1003.pdf>
15. [http://en.wikipedia.org/wiki/Swissair\\_Flight\\_111](http://en.wikipedia.org/wiki/Swissair_Flight_111)

Стаття надійшла до редакції 24.10.2016

**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 620:178.3

О.М. Shumylo, О.М. Kononova

#### ASSESSMENT OF AVERAGE RESOURCE OF SHIP'S SHAFTING

*Запропоновано новий підхід щодо прогнозуванню ресурсу суднових валів, що враховує вплив і значимість максимальних напружень спектру навантажень, і ґрунтується на ймовірнісних закономірностях втомного руйнування.*

**Ключові слова:** судновий валопровід, опір втомі, режим навантажування, довговічність.

*Предложен новый подход по прогнозированию ресурса судовых валов, который учитывает влияние и значимость максимальных напряжений спектра нагрузок, и базируется вероятностных закономерностях усталостного разрушения.*

**Ключовые слова:** судовой валопровод, сопротивление усталости, режим нагружения долговечность.

*New approach to prediction resource ship's shafting was proposed. It take into account the impact and importance of maximum stress load range and based on the regularities of probability fatigue fracture.*

**Keywords:** ship shaft, fatigue resistance, load mode, longevity.

**Problem statement.** The service life of the ship shafting is calculated by decades but the total number of loads (resource) – billions of cycles. Therefore accepted to consider that criterion of operability is strength and it characteristic is fatigue limit. Nevertheless ruptures of ship shafts, especially in a fastening zone of propeller (the loss of the propeller) were observed and after of operating time billion cycles. For large steel structures fatigue limit  $\sigma_R$  is determined on the basis of no more  $2 \cdot 10^7$  cycles. It could seem, that as abscissa  $N_G$  of point of fracture of fatigue curve no longer of base  $N_0$  ( $N_G \leq N_0$ ), that the shafts for operating without rupture  $N_\Sigma$  cycles, well above the longevity  $N_G$ , generally must not is ruptured. In other words, if it turned  $N_\Sigma \gg N_G$ , that stress in dangerous section of the shaft was less fatigue limit and a shaft can continue to work indefinitely long.

**Aim of the paper.** The article considers fundamentally different approach predicting longevity of the ship shafting.

**Main text.** Ship shafts operate in regime of complex stressed state and continuous change of the amplitudes of all of its components. Let us assume that complex stressed state can transform to equivalent of uniaxial stressed state with stress  $\tau$  which change reflects the change of all components.

Let the change in time stress  $\tau$  will discrete and block which replace with some approximation with some approximation operational regime. The question of the methods of schematization has independent value [1]. Here he is not affected.

As is known, with the help of the ship shafting is carried transmission of torque from the engine to the propeller and the it thrust that creates propeller passed the ship's hull. Herewith shafting in operation is constantly under the action of a number of loads. depending on the operating conditions of the ship (in ballast, loaded, in stormy weather and so on) changes working conditions shafting – amplifies the action of some types of loads is reduced or disappears completely other action one.

The ships shafting works in difficult conditions which are characterized variety of operating conditions and loads that appear in this case. To the main loads and arising under the it influence of stresses can include – bend, buckling, torsion, transversal longitudinal and tensional vibrations.

The maximum normal stresses on circular cross section due to bending moment and axial force

$$\sigma = \frac{M_b D}{2I_y} + \frac{F}{A},$$

where  $M_b$  – bending moment;  
 $D$  – shaft diameter;  
 $I_y$  – moment of inertia;  
 $F$  – axial force ( propeller thrust);  
 $A$  – cross-sectional area.

The maximum shear stress due to torsion is similarly given

$$\tau = \frac{T D}{2I_p},$$

where  $T$  – torsion moment;  
 $D$  – shaft diameter;  
 $I_p$  – polar moment of inertia.

The equivalent combined stress according to maximum distortional energy is

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}.$$

Hereinafter equivalent stress  $\sigma_{eq}$  will be denoted by  $\sigma$ .

Let the number of stages levels in the block will be  $k$  and stresses a block arranged in the order decreasing from  $\tau_1$  till  $\tau_k$ , so that in variation series  $\sigma_1, \dots, \sigma_i, \dots, \sigma_k$  stress  $\sigma_1$  is highest. Then we can talk about the decreasing

series  $\sigma_i/\sigma_1 = \alpha_i$  as the a series of proper fractions with a maximum value  $\alpha_1 = 1$ . If the duration of the block –  $n_b$  cycles, that  $n_{\bar{\sigma}i}$  the duration of the action stress  $\sigma_i$  within the block and the ratio of  $n_{\bar{\sigma}i} / n_b = \beta_i$  – the relative duration of it. Obviously,  $\sum_{i=1}^k \beta_i = 1$ . It can be assumed that at schematization of operational regimes of loading shaftings and transformation their to discrete volumes of block of stresses do not exceed  $5 \cdot 10^5$  cycles. In these volumes blocks and the actual number of cycles  $N_{\Sigma}$  for all service life ratio  $N_{\Sigma} / n_b = \lambda$ , is sufficiently large that allows consider  $N_{\Sigma}$  multiple volume of block ( $\lambda$  – the whole). The total operating time  $n_i$  at stresses  $\sigma_i$  – multiple operating time  $n_{\bar{\sigma}i}$  in block i.e.  $n_i = \lambda n_{\bar{\sigma}i}$  and  $N_{\Sigma} = \lambda n_b$ .

Spectrum of stresses in block can be wide enough. In this case the maximum stress  $\sigma_1$  even with a very large project resources (which is typical for marine shafting) can significantly exceed the fatigue limit if it will be s rarely and short-term action.

In calculation practice is accepted such stresses be disregarded the summation of damages from other stresses. This is a mistake which can significantly distort the resource assessment. In fact, each overload stress cycle does not pass in vain for material of parts. It is equally important to know and the total operating time at this stress for the entire service life.

In real life terms ship's shafting the number of cycles  $n_i$  can become comparable with the abscissa  $N_G$ , point of fracture of Wohler's curve. And only by the fact how to relate  $n_i$  and  $N_G$ , and should be classified shaft calculation [2]. It is clear that when  $n_i \geq N_G$  it should be strength analysis leads on the maximum stress  $\tau_1$  as stress of regular regime, i.e. according to the strength of the condition  $\sigma_1 \leq \sigma_R$  (all other stress of the spectrum undoubtedly will be less  $\sigma_R$ ). In contrast, when  $n_i < N_G$  stress  $\sigma_1$  can exceed fatigue limit  $\sigma_R$  and then within the meaning of calculation becomes calculation on longevity: breakage is possible at the further operation in area a very long life.

Calculation machine elements on fatigue life in the nature of things is to connect with the choice of a particular model of fatigue damage accumulation. The most widely used in the calculation practice gained linear hypothesis of fatigue damage accumulation (it often calls linear rule of fatigue damage accumulation)

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = a, \quad (1)$$

where  $a$  – the sum of accumulated fatigue damage;

$n_i$  – operating time on stress level  $\sigma_i$  in the actual load spectrum;

$N_i$  – longevity was determined by Wohler's curve (Fig. 1) on the stress level  $\sigma_i$ .

According to this hypothesis rupture will come if the cumulative sum  $a$  of damage reaches a unit i.e.  $a = 1$ .



As fatigue curve model will use the curve of fatigue subordinate degree function which describes the experimental data with a high correlation coefficient and thus it is widely used in design practice

$$\sigma_i^m N_i = 10^C = \sigma_R^m N_G, \quad (2)$$

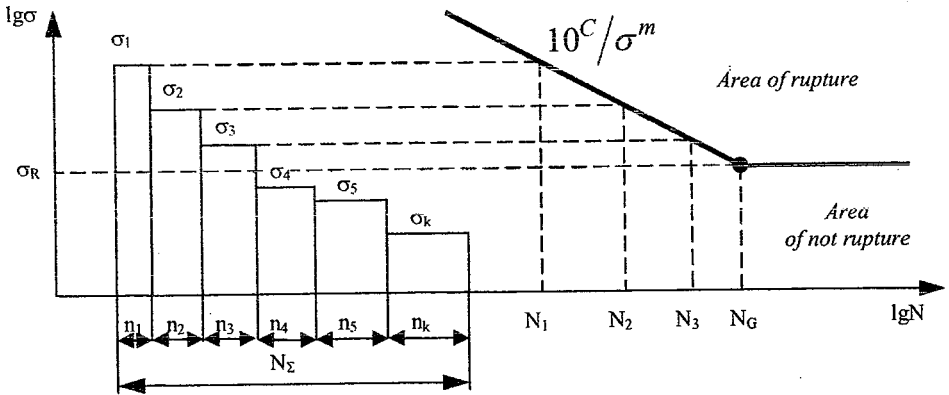
where  $\sigma_i, N_i$  – current stress and longevity (Fig.)

$m, C$  – the parameters of the power equation

$$m = 0,027\sigma_R + 1,04, \quad C = 0,997(m+1) \lg \sigma_R + 4,25 \quad [1; 2; 6],$$

$\sigma_R$  – fatigue limit MPa, in this equation it is also a parameter;

$N_G$  – abscissa of the inflection point of the fatigue curve.



*Fig. Scheme for determining the longevity parts regime of loading and Wohler's curve*

Application of the linear hypothesis in the calculation of longevity is often disputed.

Substantially these sum – random quantities [3; 5]. Previously, it was found that it can be distributed according to a normal or lognormal distribution law of random variables although it is not excluded and other distributions [5]. Then it was discovered that a more appropriate distribution is Johnson distribution with mode, a less unit [3]. The average or modal values amounts of the relative longevity can be considered as the fundamental characteristics of the parts [3; 5]. They are close to unity. If they are be taken equal unity, and the sum of damage  $a$  to spread extended to part of the spectrum, which lies below the fatigue limit that error by use of the linear hypothesis in its original form It will be acceptable, though undesirable by sign.

Longevity calculation is traditionally held by the formula

$$N_{\Sigma} = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{\beta_i}{N_i}}, \quad (3)$$

which follows from linear hypothesis of fatigue damage accumulation according to which

$$\sum_{i=1}^k n_i/N_i = \sum_{i=1}^k \beta_i N_{\Sigma}/N_i = 1.$$

This formula can be transformed into

$$N_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^k \beta_i \frac{N}{N_i}} = \frac{1}{\frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^k \beta_i \frac{10^C}{\sigma_1^m} \div \frac{10^C}{\sigma_i^m}} = \frac{N_1}{\sum_{i=1}^k \beta_i \frac{\sigma_i^m}{\sigma_1^m}},$$

taking into account ratio  $\sigma_i/\sigma_1 = \alpha_i$  we get

$$N_{\Sigma} = \frac{N_1}{\sum_{i=1}^k \beta_i \alpha_i^m}. \quad (4)$$

In continuation of the above should indicate other more weighty reason for the error which mainly affects the determination of longevity  $N_{\Sigma}$ . The random longevity  $N_{\Sigma}$  according to the function is connected with the random longevity  $N_i$ , nonlinear dependence. If a longevity  $N_i$  to understand the average value, the longevity  $N_{\Sigma}$  not the average value because the expectation of the function of random arguments in this case are not the equal function of the expectations of these arguments [5].

To get the average value of longevity  $N_{\Sigma}$ , you can use the delta method [5]. Assuming dispersions longevity  $N_i$  equal in stress levels are equal expanding the function  $N_{\Sigma} = f(N)$  in the formula (1) in a multi-dimensional Taylor series, after transformations we obtain [3]

$$\bar{N}_{\Sigma} = \frac{N_1}{\sum_{i=1}^k \beta_i \alpha_i^m} - \frac{N_1}{\left(\sum_{i=1}^k \beta_i \alpha_i^m\right)^3} \sum_{i=1}^k \beta_i \alpha_i^m \left(\sum_{i=1}^k \beta_i \alpha_i^m - \beta_i \alpha_i^m\right) V_i^2. \quad (5)$$

where  $V_i^2$  – coefficients of variation of longevity  $N_i$ .

In the expression (5) is showed, that the average longevity  $\bar{N}_{\Sigma}$  less longevity  $N_{\Sigma}$ , given by the formula (4), and it depends on scattering of longevity  $N_i$  of the at levels  $\sigma_i$  of regular loading. And only in the absence of the scattering longevity  $N_i$  at levels  $\sigma_i$  regular loading, i.e. at  $V_i = 0$ , equation (2) would have coincided with the formula (1) that is naturally, as a function of random arguments would become an ordinary function.

As is known, to eliminate scattering characteristics of fatigue resistance is impossible therefore it is impossible do not reckon with a decrease in longevity  $\bar{N}_{\Sigma}$  compared with the longevity  $N_{\Sigma}$ . This fact is explained by the difference between the calculated and experimental average longevities which when sharp fluctuations of quality of products in the party and the heavy modes of loading can be quite significant [3].

Using Formula (2) reduce the error estimation of the average resource of shafting. significantly. It was previously thought that resource estimation error entirely determined by the hypothesis of damage accumulation, its unsatisfactory conformity the experimental data. It follows from the above mentioned that these representations are illegal and that the error caused actual damage accumulation hypothesis can be detected only by applying formula (2).

To determine the factor of safety and longevity shafting at reassigned average resource and loading mode of the formula (2), we find the need longevity  $N_1$  that corresponding to the maximum stress of spectrum  $\sigma_1$

$$N_1 = \frac{\bar{N}_\Sigma}{\frac{1}{\sum_{i=1}^k \beta_i \alpha_i^m} - \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^k \beta_i \alpha_i^m\right)^3} \sum_{i=1}^k \beta_i \alpha_i^m \left(\sum_i \beta_i \alpha_i^m - \beta_i \alpha_i^m\right) V_i^2}} 1 \quad (6)$$

This longevity by fatigue curve corresponds to stress  $\sigma_{1red}$  which is regarded as the limiting

$$\sigma_{1red} = \sigma_R \sqrt[m]{\frac{N_G}{N_1}} \quad (7)$$

From fatigue curve equation can be found and longevity which is the limit according to the actual stress  $\sigma_1$

$$N_{1red} = \left(\frac{\sigma_R}{\sigma_1}\right)^m N_G \quad (8)$$

Then the ratio  $\sigma_{1red}$  of formula (7) to the actual stress  $\sigma_1$  and the ratio of  $N_{1red}$  of formula (7) to the longevity  $N_1$  of formula (5) will determine factor of safety and longevity on average values

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{1red}}{\sigma_1} \quad (9)$$

$$S_N = \frac{N_{1red}}{N_1} \quad (10)$$

Providing factor of safety and longevity  $S_\sigma > 1$  and  $S_N > 1$  according to equations (10) assumes that the inclined segments of fatigue curves of shafts (within its real change) parallel to each other. For the design of a particular type is quite acceptable. However, if necessary, easy to take into account the and changing the slope of the curves of fatigue to change the limit of endurance shaft [2].

**Conclusions.** Thus, to refine estimates of the average a resource of ship shafting you must take into account the effect of the maximum short-term loads and proceed from the ideas considered in the calculation formula (2).

## REFERENCES

1. Гусев А.С., Файнберг М.С. Метод постепенного исключения промежуточных циклов в расчетах ресурса конструкций при случайных процессах нагружения сложной структуры // *Машиноведение*. – 1987. – № 2. – С. 74-80.
2. Олейник Н.В. Выносливость деталей машин. – К.: Техніка, 1979. – 200 с.
3. Олейник Н.В., Пахомова Н.И. Вероятностная оценка усталостной долговечности деталей строительных и дорожных машин при нерегулярном нагружении // *Строительные и дорожные машины*. – 1987. – № 10. – С. 27-28.
4. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. – М.: Мир, 1969. – 396 с.
5. Johnser S., Doner M. A statistical simulation model of Miner's rule // *Trans. ASME. J. Eng. Mater and Technol.* – 1981. – Vol. 103. – № 2. – P. 112-117.
6. Шумило О.М. Обґрунтований вибір матеріалу для деталей, підлягають циклічному навантаженню // *Вісник Одеського державного морського університету*. – 1999. – Вип.4. – С. 35-43.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2016

### Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **Р.А. Варбанець**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теорія механізмів і машин і деталі машин» Одеського національного морського університету **А.В. Конопльов**

УДК 629.7.067

А.В. Андреев, А.С. Бычков, А.В. Кондратьев

**ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ  
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ТРАНСПОРТНОЙ  
КАТЕГОРИИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.  
ЧАСТЬ 2. АНАЛИЗ ВИДОВ, ХАРАКТЕРА  
И ЧАСТОТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ**

*Проведен углубленный анализ эксплуатационной несущей способности конструкций отечественных и зарубежных воздушных судов из полимерных композиционных материалов (ПКМ).*

*Установлены виды и характер повреждений, их частоты появления и взаимосвязи с технологическими дефектами, возникающими в процессе производства. Предложен продуктивный подход сохранения эксплуатационной несущей способности и живучести композитных конструкций в течение регламентированного срока их эксплуатации.*

**Ключевые слова:** эксплуатационная несущая способность, воздушные суда транспортной категории, конструкции из полимерных композиционных материалов, виды и характер эксплуатационных повреждений.

*Проведено поглиблений аналіз експлуатаційної несучої здатності конструкцій вітчизняних і зарубіжних повітряних суден з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ).*

*Встановлено види і характер пошкоджень, їх частоти появи і взаємозв'язку з технологічними дефектами, що виникають в процесі виробництва. Запропоновано продуктивний підхід збереження експлуатаційної несучої здатності і живучості композитних конструкцій протягом регламентованого терміну їх експлуатації.*

**Ключові слова:** експлуатаційна несуча здатність, повітряні судна транспортної категорії, конструкції з полімерних композиційних матеріалів, види і характер експлуатаційних пошкоджень.

*A general formulation of the problem of preserving the operational capacity of the carrier structures of domestic and foreign aircraft from polymeric composite materials.*

*An in-depth analysis of the carrying capacity of the operational structures of domestic and foreign aircraft from polymeric composite materials*

*The types and nature of the injuries, their frequency of the appearance, and the relationship with technological defects occurring in the manufacturing process. Productive approach is proposed for continued serviceability and survivability of the carrying capacity of composite structures for regulated their lifetime.*

**Keywords:** operational bearing capacity, WHO stuffy courttransport category designs from polymeric composite materials, type and nature of the operation in damage.

В [1] сформулирована общая постановка проблемы сохранения эксплуатационной несущей способности конструкций отечественных и зарубежных воздушных судов транспортной категории из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Показано, что во всем мире имеет место непрерывное увеличение объема применения и степени ответственности агрегатов воздушных судов из ПКМ.

Были также установлены основные факторы потенциальной несущей способности этих агрегатов в эксплуатации. В [3; 5-7] отмечается принципиальная необходимость проведения анализа влияния основных факторов эксплуатационных повреждений и разрушения конструкций воздушных судов как из традиционных металлов, так и полимерных композитов с учетом их отличительных особенностей.

Целью статьи является углубленный анализ основных видов и причин разрушения конструкций из ПКМ на основе отечественного и зарубежного опыта их эксплуатации, проведенный ниже.

**Изложение основного материала.** В [4] приведены данные о частоте различных повреждений в самолетах ГП «Антонов» в элементах конструкций из углепластика (см. рисунок 1).

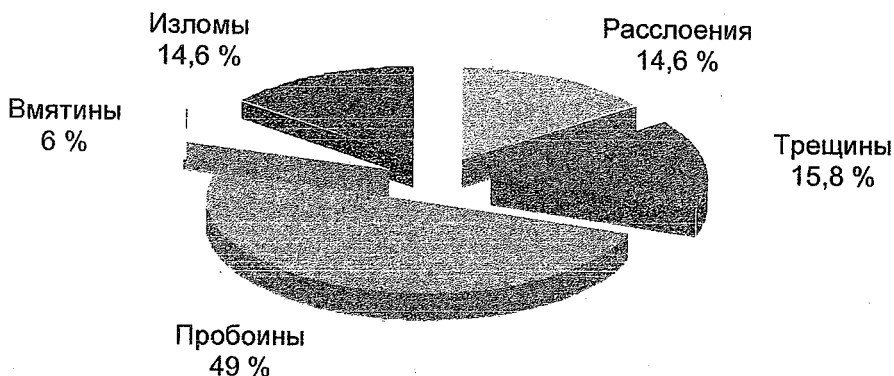


Рис. 1. Частота возникновения различных повреждений в элементах из углепластика

В [2] приведены статистические сводки эксплуатационных повреждений в обтекателях и законцовках килей, а также других элементов конструкции воздушных судов Ан-24, Ан-26, Ан-30 и Ан-32 (см. таблицы 1 и 2).

Таблиця 1 .

*Повреждения обтекателей и законцовок килей*

Номер	Наименование повреждения	Причина возникновения
1	Выветривание внешнего слоя	Абразивный износ
2	Расслоение между слоями стеклоткани	Удары
3	Расслоение сотового заполнителя	Удары
4	Трещины	Повреждения, усталость
5	Сквозные пробоины	Удары
6	Размягчение поверхности обтекателя	Удары

Таблиця 2

*Повреждения триммеров, элеронов, гребней,  
обтекателей рампы и стабилизаторов*

Номер	Наименование повреждения	Причина возникновения
1	Разрушение задней кромки	Абразивный износ
2	Выветривание внешнего слоя	Абразивный износ
3	Пробой с усадкой заполнителя	Удары
4	Попадание влаги в заполнитель	Негерметичность внешнего слоя
5	Расслоение стеклоткани	Удары
6	Трещины	Повреждения, усталость

В квалификационной работе [11] эксплуатационные повреждения элементов конструкций из ПКМ российских самолетов Ил-86 и Ту-204 и проводится анализ причин их возникновения. На диаграмме рисунка 2, составленной по результатам осмотра на самолетах Ил-86, видно, что основную массу дефектов несут на себе закрылки 61 % (внутренние и внешние по 27 % и 34 % соответственно).

По результатам контрольно-восстановительных работ при выполнении технического осмотра на самолете Ил-86 на сотовых конструкциях были обнаружены следующие типовые дефекты: отслоения, вмятины и пробоины, а также вода в сотах и течи. Аналогичные данные приведены по дефектам самолета Ту-204. Экспериментально получены также усталостные кривые образцов материалов и элементов конструкций, позволяющие определить величину остаточного ресурса элементов авиационной техники из ПКМ.

В [13] анализируется влияние дефектов деталей и многослойных конструкций из ПКМ на эксплуатационную несущую способность воздушных судов транспортной категории. Отмечается, что в связи с интенсивным расширением использования в основной силовой конструкции самолета ПКМ случайные эксплуатационные повреждения стали предметом повышенного внимания специалистов.

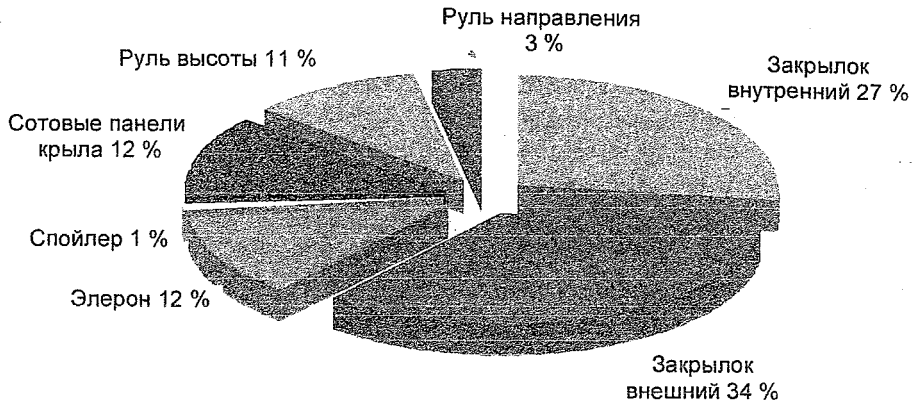


Рис. 2. Распределение дефектов элементов самолетов Ил-86 из ПКМ

То, что для металлических конструкций представлялось очевидным и потому безопасным, для конструкций из ПКМ является одной из основных задач при обеспечении их прочности и эффективности, и решение этой задачи далеко не очевидно.

Чувствительность (т.е. снижение характеристик прочности) конструкций из ПКМ к характерным для эксплуатации ударным воздействиям при снижающей контролепригодности, высокой жесткости и технологически сложно выполняемый ремонт поврежденной конструкции стали основными проблемами, угрожающими безопасности, надежности и экономической эффективности эксплуатации воздушных судов, основные силовые элементы которых выполнены из ПКМ.

При создании конструкций из ПКМ проведение системных исследований эксплуатационной повреждаемости необходимо как для обеспечения соответствия нормативным требованиям при сертификации, так и для обеспечения дальнейшей эффективной эксплуатации.

В рекомендательном Циркуляре FAAAC 20-107B «Авиаконструкции из композиционных материалов» [16] проблеме эксплуатационных ударных воздействий уделено значительное внимание.

Этот Циркуляр является средством демонстрации соответствия требованиям Авиационных правил (АП) части 23, 25, 27, и 29 к летной годности при сертификации типа авиаконструкций из ПКМ.

В нем содержатся подробные рекомендации по методологии учета влияния вероятных случайных повреждений ударного характера при проведении работ по обеспечению прочности силовых конструкций из ПКМ. В соответствии с указаниями Циркуляра и сложившейся методологией статические и усталостные испытания должна проходить конструкция, предварительно подвергнутая ударам, моделирующим вероятные ударные воздействия на конструкцию в эксплуатации.



Нормированных требований по величине (энергии) таких ударов, их характеру и местам нанесения на сегодняшний день не существует. Основой для проведения такого анализа могут являться систематизированные и обработанные по специальным алгоритмам данные о случайных эксплуатационных механических повреждениях, полученных на парке эксплуатирующихся металлических воздушных судов.

В [15] приведены результаты исследований за период 2000-2012 г. парков самолетов Ту-134, Ту-154, Як-40, Як-42, Ан-24, Ан-26, Ил-76, Ил-86, Ил-96 и других, эксплуатируемых в России.

Приводимые ниже данные иллюстрируют (см. рисунки 3-9) часть оценок, полученных на первом этапе исследований.



*Рис. 3. Распределение инцидентов по этапам наземного обслуживания*



*Рис. 4. Распределение инцидентов по видам и источникам*

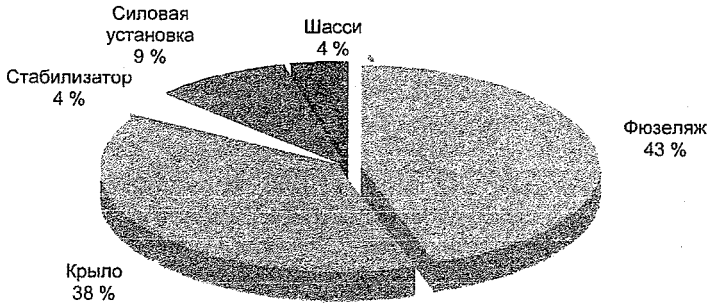


Рис. 5. Распределение повреждений по агрегатам (1258 повреждений)

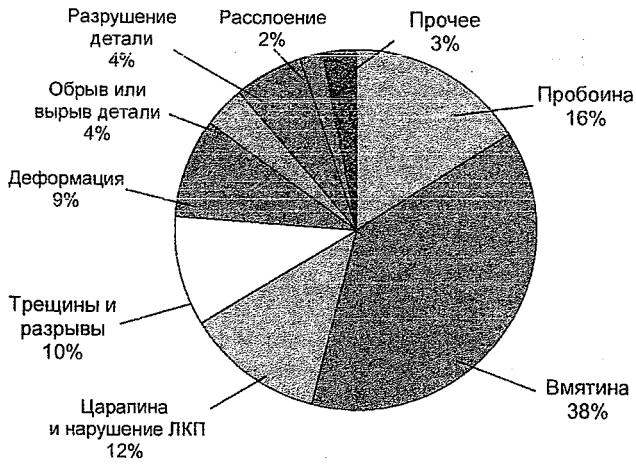


Рис. 6. Распределение повреждений по типам (826 повреждений)

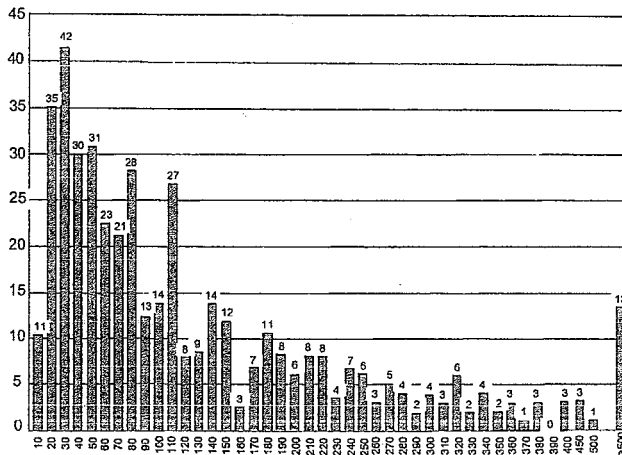


Рис. 7. Распределение повреждений по характерному размеру (438 повреждений)

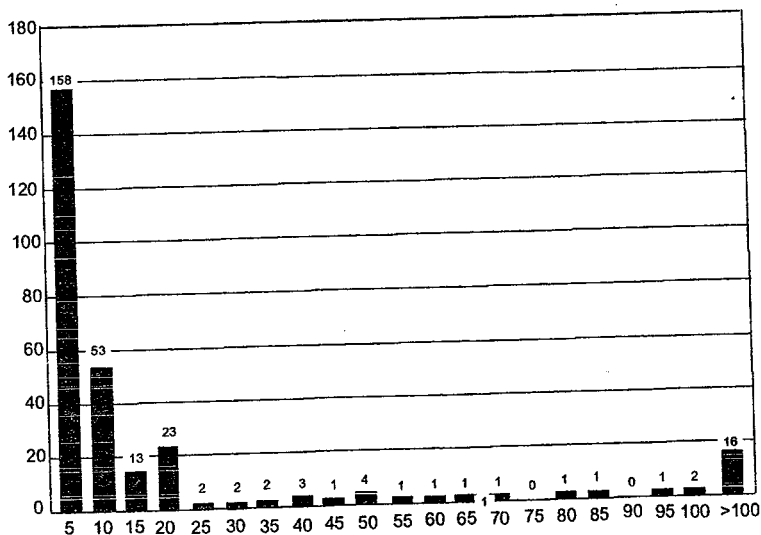


Рис. 8. Распределение вмятин обшивки по глубине (296 вмятин)

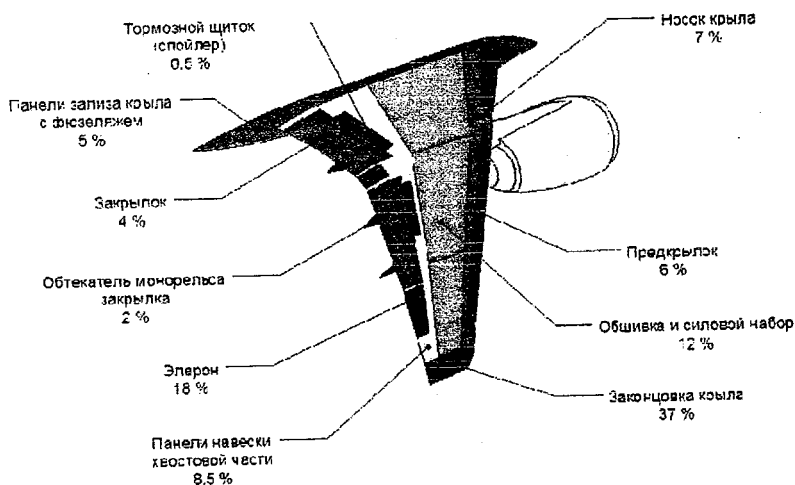


Рис. 9. Распределение повреждений по элементам крыла

Эти исследования проводятся в настоящее время совместно специалистами ГосНИИ ГАиЦАГИ.

Результаты этих исследований должны позволить:

- на основе анализа опыта эксплуатации и технического обслуживания парков отечественных и (отчасти) эксплуатирующихся в РФ самолетов иностранного производства систематизировать данные о случайных эксплуатационных повреждениях их конструкции и источниках их возникновения;

- разработать рекомендации по снижению повреждаемости ВС в эксплуатации от дискретных источников;

- разработать и ввести в практику проектирования и сертификации отсутствующие сейчас критерии безопасности конструкции от случайных эксплуатационных повреждений;

- в обеспечение работ по созданию отечественных конструкций из ПКМ (прежде всего, композитного крыла коммерческого самолёта) определить зонирование, характер и интенсивность ударных воздействий, стойкость к которым должна обеспечить безопасность конструкции по условиям прочности и возможность эффективной и коммерчески выгодной эксплуатации самолетов.

Следует отметить предварительный характер полученных на первом этапе оценок, так как они охватывают ограниченный сегмент надежно выявляемых и в обязательном порядке регистрируемых повреждений при инцидентах. Дополненные широким спектром повреждений, выявляемых при техническом обслуживании, ремонтах и целевых исследованиях технического состояния, эти данные должны стать основой для решения сформулированных выше задач.

В [13] рассмотрены дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из ПКМ, возникающие в процессе их изготовления, классифицированные авторами на 7 групп по степени их опасности. В приведенных таблицах для каждой группы указаны вид дефекта, его визуализация, количественные и качественные показатели и причины образования. Дефекты ПКМ, возникающие в процессе производства композитных конструкций, исследовались и классифицировались в [8; 9], а затем получили углубленное развитие в многоуровневых классификациях [10; 12]. Рассмотренные в [8; 9; 12; 13] дефекты технологического происхождения в большинстве своем отражаются на снижении эксплуатационной несущей способности композитных конструкций воздушных судов, интегрируясь с их повреждениями, возникающими непосредственно в эксплуатации.

В работе [13] также приведены фотографии шлифов деталей из углепластика (КМУ) канала воздуховода самолета, демонстрирующие дефекты различных классификационных групп (см. рисунок 10).

Характерными дефектами деталей из ПКМ и клееных конструкций, возникающими при эксплуатации изделий авиационной техники, являются [13]: царапины (сквозное и несквозное щелевое нарушение обшивки); расслоение обшивок из ПКМ, вмятины, одно- и двухсторонние пробоины в сотовых агрегатах, сквозные проколы до 4 мм; трещины и отслоения обшивок (в зонах: обшивка-соты, каркас-соты, обшивканакладки); накопление влаги.

В [13] также отмечается, что усталостные разрушения структуры материала приводят к потере прочности на сжатие при статической нагрузке. Четко видимое ударное разрушение может снизить прочность на 80 %, едва видимое – на 65 %.

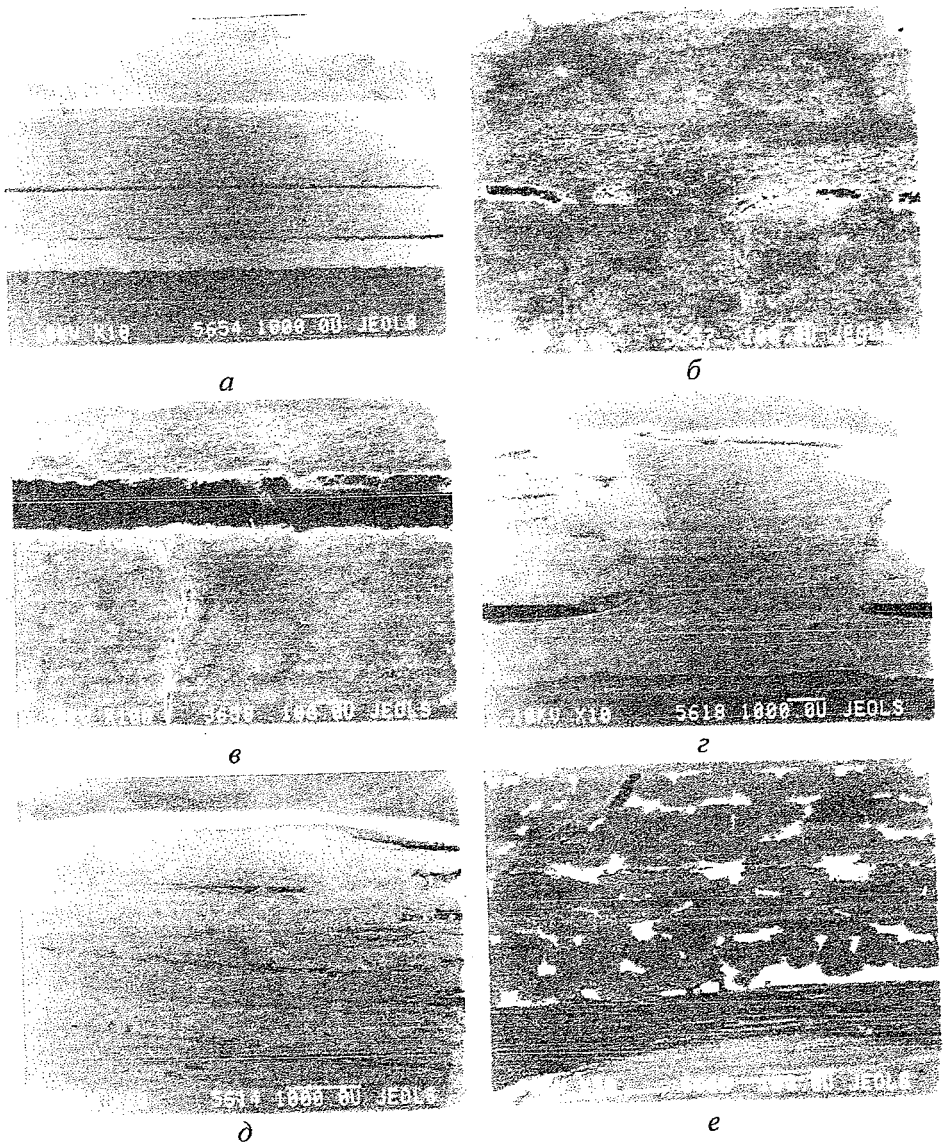


Рис. 10. Шлифи деталей из КМУ с различными видами дефектов:  
а – расслоение вблизи зоны заклепочного соединения в клепаной конструкции из углепластика. Кольцевые слои вдоль шлифов. Общий вид;  
б – прерывистость расслоения углепластика; в – расслоение между кольцевыми и продольными слоями углепластика с трещиной поперек слоев; г – расслоение углепластика в зоне заклепочного соединения;  
д – расслоения с малым раскрытием в слое углепластика; е – трещина под заклепкой. Заклепка в нижней части снимка

Пористость ухудшает характеристики связующего. Пористость в 1 % снижает прочность на 5 %, а усталостную долговечность – на 50 %. Поверхностные надрезы и другие повреждения поверхности конструкции из ПКМ могут привести к местным расслоениям в зоне повреждения и снижению статической прочности от 0 до 50 % зависимости от места этого повреждения. Волнистость слоев также обуславливает снижение прочности. Так, при волнистости слоя  $0^\circ$  в перекрестно армированных ПКМ прочность снижается от 10 до 25 % в зависимости от степени волнистости этого слоя. Увеличенная выдержка при формовании деталей из ПКМ (при излишне продолжительной полимеризации) приводит к образованию трещин в матрице, расслоению материала, нарушениям в зоне соединения волокна и матрицы, снижению прочности при температуре стеклования [13].

Резюмируя исследуемые в [8-10; 12; 13] технологические дефекты композитных конструкций следует отметить, что возможны:

- зоны отсутствия соединения между элементами конструкции (непроклеи), обусловленные плохой подгонкой соединяемых элементов перед склеиванием или недостаточным давлением, создаваемой технологической оснасткой;
- слабая адгезия – недостаточное сцепление клея с материалом соединяемого элемента из-за плохой подготовки поверхностей соединяемых элементов, замазывания или загрязнения склеиваемых поверхностей;
- неполная полимеризация клея, обусловленная отклонениями от температурно-временного режима при отверждении клея и являющаяся грубым нарушением технологического режима;
- ослабление прочности соединения вследствие пористости клея, обусловленное неполным удалением из него растворителя, а также недостаточным давлением при запрессовке;
- накопление повреждений в клеевом шве при усталостном нагружении, снижающих его прочность;
- ударные разрушения клеевого шва в результате соударения с твердыми предметами.

Кроме того, в сотовых конструкциях возможно также наличие зон разрушения сотового заполнителя или пустот, обусловленное смещением сотовых блоков.

Наиболее характерные дефекты, которые встречаются в многослойных конструкциях и изделиях из ПКМ после их изготовления, могут быть следующих видов:

- непрочности в слоистых, сотовых и других клееных конструкциях с заполнителем;
- расслоения в склеиваемых деталях и обшивках сотовых и интегральных конструкций из ПКМ;
- инородные включения в слоистых и сотовых конструкциях;
- подмятие сотового заполнителя (потеря устойчивости).

Завершая анализ публикаций, посвященных исследованиям эксплуатационной несущей способности конструкций воздушных судов из ПКМ, необходимо отметить еще один важный аспект – их эксплуатационную живучесть.

В [14] обсуждается подход к созданию безопасных конструкций из ПКМ, основанный на сочетании вероятностных методов и конструктивно-технологических средств обеспечения эксплуатационной живучести, позволяющей обеспечить высокую безопасность конструкции и весовую эффективность. Предлагаются основные направления повышения весовой и экономической эффективности агрегатов воздушных судов из ПКМ и их эксплуатационных характеристик живучести. Предложены также критериальные рекомендации выбора материалов по уровню повреждаемости, методам ремонта в эксплуатации, качеству технологических процессов по дефектности, ограничениям по габаритам изделия, объемам серии и производительности.

Отмечается, что весовая и экономическая эффективность изделий из ПКМ с регламентированным уровнем безопасности и надежности зависит от уровня допускаемых максимальных эксплуатационных напряжений  $\sigma_{max}^2$ , определяющих массу конструкции  $G$ , а также затрат на обнаружение технологических дефектов и эксплуатационных повреждений  $C_{def}$  (см. рисунок 11).

На рисунке 12 показан характер изменения массы, стоимости и трудоемкости обслуживания авиаконструкций из ПКМ с увеличением относительной величины допускаемых напряжений, а на рисунке 13 – общая схема решения задачи конструктивно-технологического обеспечения живучести и безопасности авиаконструкций из ПКМ [14].

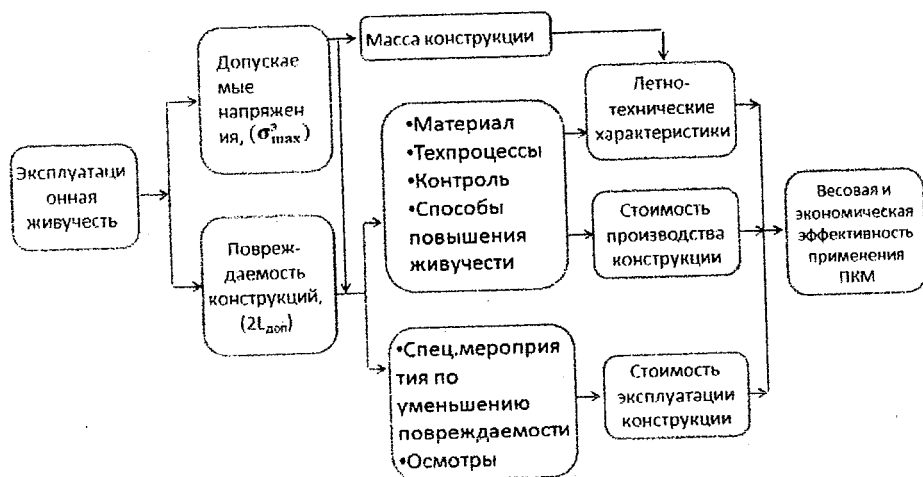


Рис. 11. Общая схема повышения эффективности применения ПКМ

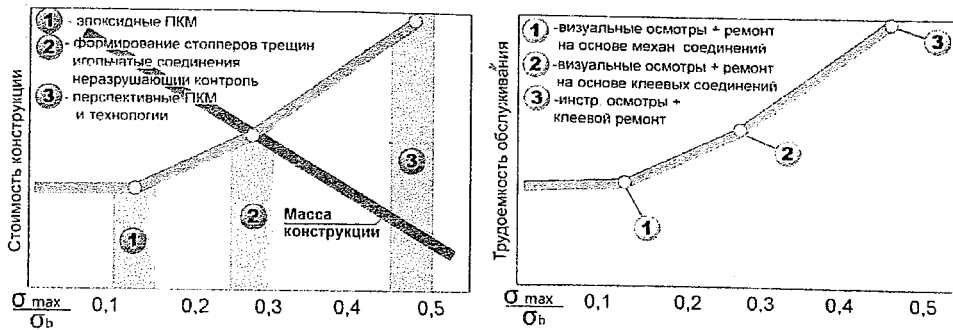


Рис. 12. Характер изменения массы, стоимости и трудоемкости обслуживания авиаконструкций из ПКМ с увеличением относительной величины допускаемых напряжений

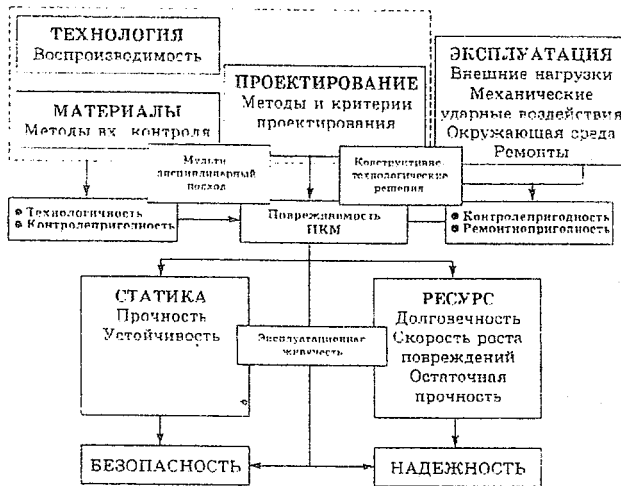


Рис. 13. Общая схема решения задачи конструктивно-технологического обеспечения живучести и безопасности авиаконструкций из ПКМ

## Выводы

1. Проведен углубленный анализ доступной информации по отечественным и зарубежным воздушным судам видов и характера эксплуатационных повреждений, их частоты проявления и взаимосвязи с технологическими дефектами, возникающими в процессе производства этих изделий.

2. Из проведенного анализа установлено, что в значительной степени эксплуатационные повреждения являются прямым или косвенным следствием технологических дефектов.



3. Представляется продуктивным с учетом результатов уже проведенных исследований других авторов продолжить решение проблемы конструктивно-технологического обеспечения эксплуатационной несущей способности и живучести в особенности силовых высоконагруженных агрегатов воздушных судов из ПКМ в плане достижения максимальной весовой и экономической эффективности на основе определения условий возможности эксплуатации этих конструкций при наличии в них дефектов и повреждений в течение регламентированного срока службы в заданных условиях при выполнении ограничений по безопасности, надежности и эксплуатационной технологичности.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреев А.В. Эксплуатационная несущая способность конструкций отечественных и зарубежных воздушных судов транспортной категории из полимерных композиционных материалов. Ч. 1. Общая постановка проблемы [Текст] / А.С. Андреев, А.С. Бычков, А.В. Кондратьев // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2016. – Вып. 1(47).
2. Астанін В.В. Експлуатаційні пошкодження елементів конструкцій літальних апаратів із композиційних матеріалів і методи їх ремонту [Текст] / В.В. Астанін, О.В. Глоба, О.А. Шевченко // Технологические системы: Науч.-технич. журнал. – К., 2011. – № 4. – С. 64-68.
3. Бычков А.С. О взаимосвязи юридически-правовой поддержки жизненного цикла воздушных судов и проблемы обеспечения безопасности их конструкций [Текст] / А.С. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов // Сб. научн. трудов. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4(84). – Х., 2015. – С. 79-85.
4. Бычков С.А. Решение проблемы создания авиаконструкций из полимерных композиционных материалов на АНТК «Антонов» [Текст] / С.А. Бычков, В.Г. Бондарь, В.Н. Король // Авіаційно-космічна техніка і технологія: наук.-техн. журнал. – Х.: ХАИ, 2003. – Вып. 49 (5). – С. 34-37.
5. Бычков А.С. Основные виды и причины разрушения стальных деталей агрегатов отечественных воздушных судов транспортной категории [Текст] / А.С. Бычков, А.Г. Моляр // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. научн. трудов. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». – Х.: НАКУ «ХАИ», 2016. – Вып. 1 (85). – (В печати).

6. Бычков А.С. Основные причины разрушения конструктивных элементов воздушных судов транспортной категории из алюминиевых сплавов [Текст] / А.С. Бычков, А.Г. Моляр, И.Р. Игнатович // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. научн. трудов. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». – Х.: НАКУ «ХАИ», 2015. – Вып. 70. – С. 136-151.
7. Бычков А.С. Эксплуатационная несущая способность деталей конструкций отечественных воздушных судов транспортной категории из титановых сплавов [Текст] / А.С. Бычков, А.Г. Моляр // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. научн. трудов Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». – Х.: НАКУ «ХАИ», 2016. – Вып. 71. – (В печати).
8. Гайдачук В.Е. О возможности регламентации технологических несовершенств в конструкциях из композиционных материалов [Текст] / В.Е. Гайдачук, Н.Б. Воронцов, А.И. Рукавишников // Прочность конструкций летательных аппаратов: темат. сб. науч. тр. Харьк. авиац. ин-та. – Вып. 6. – Х.: ХАИ, 1981. – С. 124-129.
9. Технология производства летательных аппаратов из композиционных материалов [Текст] / В.Е. Гайдачук, В.Д. Гречка, В.Н. Кобрин, Г.А. Молодцов. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1989. – 332 с.
10. Гайдачук А.В. Анализ технологических дефектов, возникающих в серийном производстве интегральных авиаконструкций из полимерных композиционных материалов [Текст] / А.В. Гайдачук, А.В. Кондратьев, Е.В. Омельченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – Вып. 3 (70). – С. 11-20.
11. Лебедев И.К. Эксплуатационная долговечность элементов авиаконструкций из композиционных материалов: дис...канд. техн. наук 05.22.14 / Лебедев Игорь Константинович. – М., 2010. – 212 с.
12. Мельников С.М. Многоуровневая классификация дефектов сотовых заполнителей из металлической фольги и вытекающие из нее задачи определения их полей допусков [Текст] / С.М. Мельников // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. научн. трудов Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х.: ХАИ, 2005. – Вып. 2 (41). – С. 88-100.

13. Мурашов В.В. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов. Ч.1. [Электронный ресурс] / В.В. Мурашов, А.Ф. Румянцев // Контроль. Диагностика. – № 4. – 2007. – С. 1-17 / Режим доступа [www.viam.ru/rublic](http://www.viam.ru/rublic).
14. Ушаков А.Е. Общая постановка и схема решения задачи обеспечения безопасности авиаконструкций из ПКМ с учетом их повреждаемости [Текст] / А.Е. Ушаков // Механика и машиностроение: Известия Самарского научного центра РАН. – Т. 14. – № 4(2). – 2012. – С. 339-347.
15. Фейгенбаум Ю.М. Влияние случайных эксплуатационных повреждений на прочность и ресурс конструкции воздушных судов [Текст] / Ю.М. Фейгенбаум, С.В. Дубинский // Научный вестник МГТУГА. – № 187. – 2013. – С. 83-91.
16. Advisory Circular 20-107B, 8 September. – 2009. – P. 12.

*Стаття надійшла до редакції 24.10.2016*

**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 656.614.073.4444(045)

А.Ф. Мошнянский, А.А. Мошнянский, О.А. Чумак

### РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОХЛАЖДЕНИЯ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ МОРЕМ

*Приведены результаты математического моделирования процессов охлаждения ряда скоропортящихся грузов (мясо, цитрусовые, бананы, сыр, масло) при перевозке их морем и сопоставлены с экспериментальными значениями. Используются значения эффективных коэффициентов теплопроводности (ЭКТП), теплоотдачи и тепловых потоков. Показано, применительно к каким грузам следует использовать ЭКТП, и даны их конкретные значения.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, скоропортящиеся грузы, температура, эффективный коэффициент теплопроводности, рефрижераторные суда.

*У статті наведені результати математичного моделювання процесів охолодження вантажів, які швидко псуються (мясо, цитрусові, банани, сир, масло) при перевезенні їх морем і зіставлені з експериментальними значеннями. Використані значення ефективних коефіцієнтів теплопровідності (ЕКТП), тепловіддачі і теплових потоків. Показано до яких вантажів слід використати ЕКТП і наводяться їх конкретні значення.*

**Ключові слова:** математичне моделювання, швидкопсуючийся вантаж, температура, ефективний коефіцієнт теплопровідності, рефрижераторні судна.

*Results from mathematical modeling of cooling processes for a number of perishable goods (meat, citrus, bananas, cheese, butter) during their sea shipping are presented and compared with experimental values. Values of effective thermal conductivity, coefficients heat exchange and heat flows are obtained. It is shown conformably to which goods efficient thermal conductivity should be used. Its concrete values are given.*

**Keywords:** mathematical modeling, perishable goods, temperature, effective coefficients thermal conductivity, refrigerated ships.

Процесс охлаждения груза для холодильной установки судна, наиболее напряженный и требует в ряде случаев использования всей располагаемой холодопроизводительности. Расчет требуемой холодопроизводительности должен быть основан на данных о тепловом состоянии и продолжительности охлаждения каждого конкретного груза. Температурно-влажностные условия транспортировки и скоростной режим рефрижерации определяются требованиями технологии перевозки для каждого вида груза.

Сюрвейер, занятый инспекцией продовольственных грузов в процессе их погрузки-выгрузки, в морских портах должен иметь четкие знания в вопросах классификации грузов, методов сохранной перевозки на различных типах судов, подготовки грузов и грузовых помещений к погрузке. Особое внимание сюрвейера сосредоточено при выгрузке продовольственных грузов на их качество.

К скоропортящимся грузам относятся грузы, которые в течение длительного времени могут сохранять свои пищевые и питательные свойства без применения специальных мер обработки, например, консервации [1].

Суда, осуществляющие перевозку режимных грузов, разделяются на рефрижераторные суда с батарейной системой охлаждения грузовых помещений; рефрижераторные суда с воздушной системой охлаждения грузовых помещений и др. Морские перевозки осуществляют на рефрижераторных судах с батарейной системой охлаждения при минимальной вентиляции, что резко снижает потери массы и усушку груза. В замороженном и охлажденном состоянии перевозятся мясо, масла, рыбная продукция и др. Так, например, наиболее ценным мясом считается охлажденное [1].

С момента начала погрузки режимных грузов на судне ведется постоянный контроль за состоянием температуры, влажности трюмного воздуха и режимов работы вентиляционной системы. Данные замеров заносят в специальный рефрижераторный журнал. Именно с контроля записей в рефрижераторном журнале сюрвейер и начинает анализ условий перевозки продовольственных грузов в порту назначения. Во время перевозки рефрижераторных грузов на судне включают самописцы температур, установленных непосредственно за воздухоохладителями и в трюмах. Все фиксируется в рефрижераторном журнале. Сюрвейер имеет право потребовать или сделать соответствующие выписки из температурного журнала.

Ниже рассматривается возможность определения теплового состояния скоропортящихся грузов в период их охлаждения в судовых рефрижераторных помещениях с использованием эффективного коэффициента теплопроводности (ЭКТП), учитывающего все виды теплопереноса. Численные значения ЭКТП определялись из решения инверсных задач методом математического моделирования с использованием экспериментальных данных на судах [2]. Определение ЭКТП применительно к различным грузам сводилось к решению задач нестационарной теплопроводности в одномерной постановке с граничными условиями первого рода при равномерном начальном распределении температур

$$\lambda_{эф} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - C_v \frac{\partial T}{\partial \tau} + q_v = 0, \quad (1)$$

где  $\lambda_{эф}$  – ЭКТП;

$T$  – температура;

$x$  – координата;

$C_V$  – удельная объемная теплоемкость;

$\tau$  – время.

В качестве исходных данных принимались температурные поля, полученные при эксперименте в натуральных и лабораторных условиях. Кроме того, известны  $C_V$  и  $\lambda_{эф}$ , соответствующие кондуктивному переносу. Для грузов, где необходимо учитывать внутреннее тепловыделение, использовалось по аналогии с работой [2] уравнение

$$q_V(T) = q_0 e^{kT}, \quad (2)$$

Значение ЭКТП определялось из уравнения (1) подбором так, чтобы наиболее полно обеспечить совпадение температур, полученных методом математического моделирования ( $T_M$ ) и в эксперименте ( $T_{\mathcal{O}}$ ). Таким образом, задача поиска ЭКТП сводилась к минимизации величины

$$\xi = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^m [T_M(x_k, \tau_i) - T_{\mathcal{O}}(x_k, \tau_i)]^2, \quad (3)$$

где  $k, i$  – число экспериментальных точек и фиксированных моментов времени. Выбор оптимальных значений интервалов пространства  $\Delta x$  и времени  $\Delta \tau$  осуществлялось последовательным их уменьшением.

В процессе решения инверсных задач определялось влияние ЭКТП на тепловое состояние груза и время его охлаждения. Для контрольных экспериментальных точек в в объеме груза определялась ошибка

$$\delta_i = \frac{T_{\mathcal{O},i} - T_{M,i}}{T_{\mathcal{O},i}} * 100\%, \quad (4)$$

Средняя ошибка в объеме груза находилась из выражения

$$\delta_{cp} = \frac{1}{m} \sum_i^m |\delta_i|, \quad (5)$$

Особый интерес представляют скоропортящиеся грузы с внутренним тепловыделением. После загрузки в трюм в виде прямоугольных штабелей скоропортящиеся грузы, особенно плоды и овощи, требуют интенсивного охлаждения до заданной температуры. Температурное поле

штабеля груза зависит от условий теплообмена с окружающей средой, внутренних тепловыделений, наличия конвективного переноса внутри штабеля. Теплообмен штабеля груза с окружающей средой весьма сложен. Так, для цитрусовых, перевозимых в картонных ящиках массой около 18 кг и укладываемых в штабеля по семь-восемь ящиков, в связи со сложной структурой (разнообразная форма плодов и их размеров, пористость и т. д.) теплоперенос протекает различно (кондуктивный, конвективно-диффузионный, радиационный и др.). Определено влияние ЭКТП на тепловое состояние апельсинов [3]. Средняя ошибка за время охлаждения (шесть суток) приведена ниже:

$\lambda_{эф}$ , Вт/(м . К)....	0,43	160	290	460	640
$\delta_{ср}$ , % .....	82,5	6,6	4,9	0,8	3,5

Лучше всего согласовались температуры математического моделирования и эксперимента при  $\lambda_{эф} = 460$  Вт/(м.К). Значение  $\lambda_{эф} = 0,43$  Вт/(м . К) соответствует кондуктивному переносу. Из решения задачи при этом значении  $\lambda_{эф}$  следует, что груз не охлаждается, как это происходит в реальных условиях, а нагревается, так как не учитываются теплоперенос через апельсины фильтрацией воздуха, естественной и вынужденной конвекцией, испарением влаги и других факторов.

Полученное среднее значение  $\lambda_{эф}$  позволило решать прямые задачи нестационарной теплопроводности для цитрусовых и бананов и сопоставить результаты математического моделирования с экспериментальными данными. При  $\lambda_{эф} = 460$  Вт/(м . К) решена задача определения температурного поля в штабеле кубинских апельсинов «Валенсия» при транспортировке на рефрижераторном судне. В качестве граничных условий первого рода принимались значения температур поверхности ящиков в начале и в конце штабеля, полученные в процессе натурального эксперимента.

Для сравнения результатов математического моделирования и натурального эксперимента использовалось экспериментальное изменение температуры в центре ящика.

Проведение натуральных экспериментов на судах в условиях охлаждения грейпфрутов показало, что изменение перепада температур от начала охлаждения до выхода в режим в течение четырех суток по ширине штабеля (левый борт – правый борт) составляло  $\Delta T = 1,0-0,2$ ; по длине штабеля (нос – корма) –  $0,8-0,1$ ; по высоте штабеля (днище – палуба) –  $6,0-0,9$  градусов Цельсия. Наиболее существенный перепад температур отмечается по высоте штабеля, что позволяет решать задачу в одномерной постановке. Разбивка по пространству осуществлялась с шагом, равным расстоянию между центрами ящиков. Выбор интервала времени

зависел от характера изменения граничных условий первого рода. Экспериментальное изменение температур на поверхности (начало и конец штабеля) составляло 0,4 – 2,4 град/сут. Значение интервала времени принималось  $\Delta \tau = 0,5$  сут. Результаты решения сравнивались с экспериментальными данными, при этом средняя ошибка за время охлаждения в течение рейса (20 суток) составляла 4,7 %.

Рекомендуемое среднее значение ЭКТП  $\lambda_{эф} = 460$  Вт/(м . К) использовано при решении задачи по изменению теплового состояния и времени охлаждения применительно к транспортировке бананов и грейпфрутов. Проводилось сравнение результатов решений с экспериментальными значениями температуры в центре каждого ящика. В качестве максимального значения принималась экспериментальная начальная температура, которая составляла для бананов  $T_{эmax} = 15,3$ , а для грейпфрутов – 14,0 град. Цельсия. Средняя ошибка по объему штабеля за время охлаждения определялась по выражению (5) и составляла для бананов 2,9 (за восемь суток), для грейпфрутов – 1,59 % (за девять суток). Интервал времени принимался таким же, как и для апельсинов.

Грузы без внутренних тепловыделений, такие, как мясо, сыр, масло животное, имеют другие структуры, тепловлажностные характеристики, характер теплообмена с окружающей средой. Сыр и масло по своей структуре более близки к телам, в которых преобладает теплоперенос теплопроводностью. Мясо по своей структуре относится к капиллярно-пористым коллоидным телам, в которых процессы теплопереноса более сложны. Последнее обстоятельство потребовало при решении инверсных задач применять более мелкую разбивку по пространству.

Данные о влиянии  $\lambda_{эф}$  на тепловое состояние полутуши в форме цилиндра для точки на радиусе 0,86 R при толщине 2 R = 0,25 м за время охлаждения полутуши приведены ниже:

$\lambda_{эф}$ Вт/(м . К).....	0,475	4,75	47,5	475	950
$\delta_{ср}$ , % .....	208,6	207,2	108,3	10,9	1,9
$\delta_{max}$ , % .....	812,5	800,0	276,5	17,9	6,2

Была выбрана точка 0,86 R в качестве характерной, так как она находится вблизи поверхности охлаждения и эксперименты показали присутствие заметных градиентов температуры вблизи этой точки. Наилучшее согласование значений температуры, определенных по результатам математического моделирования и эксперимента, при  $\lambda_{эф} = 950$  Вт/(м . К). Значение  $\lambda_{эф} = 0,475$  Вт/(м . К) соответствует кондуктивному теплопереносу и наибольшей ошибке.



Полученное среднее значение  $\lambda_{эф}$  позволило решать прямые задачи нестационарной теплопроводности при охлаждении мяса с целью определения  $\tau_0$  и оценки достоверности значения  $\lambda_{эф}$  в результате сопоставления с экспериментальными данными. При использовании  $\lambda_{эф} = 950$  Вт/(м · К) решались задачи по определению  $\tau_0$  и теплового состояния мясных полутуш при двух наиболее характерных режимах охлаждения (число Био  $Bi = \alpha R / \lambda = 0,82$  и  $1,3$ ) и в различных условиях.

Расчет времени охлаждения выполнен по двум аналитическим зависимостям, отличающимся принятыми допущениями [4]. Различие результатов расчета по двум зависимостям достигало в среднем 30 %. Отличие от экспериментальных данных весьма существенно и достигает с увеличением длительности охлаждения 60 – 100 %. При решении инверсных и прямых задач нестационарной теплопроводности численным методом применительно к охлаждению мяса принималось  $\Delta x = 4,64$  мм,  $\Delta \tau = 1-2$  ч. Влияние пространственных интервалов на точность решения инверсных задач весьма существенно. Например, при  $\Delta x = 2,0$  мм  $\lambda_{эф} = 8,8$  кВт/(м · К); при  $4,64 - 0,95$ ; при  $8,0 - 0,68$ .

При решении инверсных задач для условий рефрижерации применительно к сыру и маслу животному можно не пользоваться величиной  $\lambda_{эф}$ . Но для достаточно хорошей оценки времени охлаждения продукта на основе анализа его теплового состояния необходимо решать нелинейную задачу нестационарной теплопроводности или обоснованно выбирать свойства продукта при линейной постановке задачи. Средняя ошибка температурного поля головки сыра прямоугольной формы за время охлаждения  $\tau_0 = 18$  ч составила 5,9 при  $\lambda_{эф} = 0,54$ ; 5,0 при 0,27; 3,6 % при 0,405 Вт/(м·К). Относительная ошибка в каждой точке продукта рассчитывалась по зависимости (4), где в знаменатель вместо  $T_{эi}$  подставляли максимальное значение температуры продукта.

Время охлаждения сыра в центре головки прямоугольной формы от 18 до 8 град. Цельсия составляло 20 ч при  $\lambda = 0,27$ ; при 0,405  $\tau_0 = 15$  ч и при 0,54 Вт/(м · К)  $\tau_0 = 12,5$  ч.

Для сыра решалась также обратная задача нестационарной теплопроводности в линейной и одномерной постановке с использованием экспериментальных данных изменения температуры на поверхности сыра. По известному температурному полю, которое определялось методом математического моделирования при граничных условиях первого рода, находилось значение удельного теплового потока на поверхности  $x = 0$  и  $x = H$  из зависимости

$$q(\tau) = - \lambda \frac{dT(\tau)}{dx}, \quad (6)$$

В результате решение задачи было получено, что удельный тепловой поток на входе воздуха в ящик с сыром ( $q_{ВХ}$ ) больше, чем на выходе из него ( $q_{ВЫХ}$ ). По мере охлаждения сыра и уменьшения разности температур поверхности и наружной среды значения  $q_{ВЫХ}$  и  $q_{ВХ}$  уменьшаются. Величину изменения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  между поверхностью сыра (на входе) и наружной средой определяли по зависимости

$$\alpha(\tau) = \frac{q(\tau)}{T_{П}(\tau) - T_{С}(\tau)}, \quad (7)$$

где  $T_{П}$ ,  $T_{С}$  – температуры поверхности сыра и среды.

**Выводы.** Одной из ключевых проблем транспортного процесса является его многофакторность. В этом случае становится актуальным, какие факторы и в какой степени оказывают влияние на продукцию на отдельных этапах транспортировки груза, и приводят к снижению качества товара и потери его количества. Роль грузового сюрвея в единой транспортно-логистической цепи в системе мультимодальных перевозок и появление новой сервисной функции сюрвея показаны в [5].

Для определения и прогнозирования теплового состояния и времени охлаждения мяса, штабеля цитрусовых и бананов при их транспортировке рефрижераторными судами может быть использована математическая модель нестационарной теплопроводности с вводом ЭКТП.

Решение аналогичных задач для штабеля сыра и масла животного следует осуществлять в нелинейной постановке. Численные значения тепловых потоков и коэффициентов теплоотдачи, полученные из решения обратных задач для сыра, могут быть использованы в качестве граничных условий III рода.

Прогнозирования изменения штабеля скоропортящихся грузов позволяет определить длительность охлаждения груза и оценить соответствие расчетной холодопроизводительности фактически необходимой, эффективность работы охлаждения и всей холодильной установки.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Снопков В.И. *Руководство по проведению сюрвейерских работ на транспорте.* – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2005. – 656 с.
2. Мошнянский А.Ф., Стефанович В.В. *Математическое моделирование процессов охлаждения скоропортящихся грузов при перевозке рефрижераторными судами // Всесоз. науч.-техн. конф. «Современное состояние и перспективы развития кондиционирования воздуха на судах»: Тез. докл. – Николаев, НТО, 1984. – С. 27.*

3. Мошнянский А.Ф., Стефанович В.В. Использование эффективного коэффициента теплопроводности для решения задач охлаждения скоропортящихся грузов // Научн.-прикладн. журнал: Промышленная теплотехника. – Т. 9. – № 3. – К.: Наукова думка, 1987. – С. 64-69.
4. Бражников А.М., Карпычев В.А., Палеев А.И. Аналитические методы исследования процессов термической обработки мясopодуктов. – М.: Пищ. пром-сть, 1974. – 230 с.
5. Мошнянский А.А., Мошнянский А.Ф., Чумак О.А. К вопросу подогрева пищевых грузов на танкерах при участии сюрвейерских компаний и создателей логистической сети // Зб. наук. праць: Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – Вип. 18. – Одеса: ОНМУ, 2011. – С. 182-194.

Стаття надійшла до редакції 10.10.2016

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **В.Г. Івановський**

доктор технічних наук, професор кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету **В.П. Сторожев**

УДК 656.078.12

Д.В. Кутяков, А.Ф. Мошнянский

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

*В статье рассматривается решение задачи нестационарной теплопроводности с граничным условием. Получена математическая модель и предлагается ее применение в алгоритме автоматического управления оптимально кратким во времени и безопасным режимом пуска судовой паровой турбины. Данная модель и алгоритм являются элементом общей математической модели судового пропульсивного комплекса.*

**Ключевые слова:** математическая модель, автоматика, алгоритм, теплопроводность, управление, пуск, судовая паротурбина.

*У статті розглядається розв'язування задачі нестационарної теплопровідності з граничною умовою. Одержано математичну і пропонується застосування її в алгоритмі автоматичного керування оптимально коротким в часі і безпечним режимом пуску судової парової турбіни. Дана модель і алгоритм є елементом загальної математичної моделі судового пропульсивного комплексу.*

**Ключові слова.** Математична модель, автоматика, алгоритм, теплопровідність, керування, пуск, судова паротурбіна.

*The article focuses on solution of the problem related to transient heat conductivity with a boundary condition. Obtained is a mathematical model, which is suggested to be further, applied in the automatic operation scheme for optimally shortest and safe run mode of the marine steam turbine. This model and a scheme are elements of the common mathematical model of the ship's propelling unit.*

**Keywords:** mathematical model, automatic, scheme, thermal conductivity, run mode, marine steam turbine.

Автоматизация управления, новые информационные технологии (ИТ) с использованием современных технических и программных средств, компьютерные системы управления (КСУ) находятся в центре внимания на водном транспорте.

Сотрудниками лаборатории мониторинга СДВС кафедры «Судовые энергетические установки (СЭУ) и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета разработана система on-line контроля основных объектов СЭУ: двух главных двигателей, до четырех дизельгенераторов и судового котла [1]. Система базируется на современных технологиях определения эффективных параметров СЭУ в процессе эксплуатации судна.

Определение во время эксплуатации реальных значений эффективной мощности главных и вспомогательных двигателей позволяет максимально корректно рассчитывать фактический расход топлива (масла), а также контролировать техническое состояние дизелей. Доступ информации, передаваемой с судна по одному из каналов связи (GPS, INMARSAT или спутниковая связь), организован через сайт. Службе управления достаточно иметь выход в Интернет и параметры автоматизации, чтобы из любой точки мира круглосуточно получать информацию по своим судам.

Имеются разработки алгоритмов управления режимом подогрева грузов в процессе их транспортировки на танкерах [2; 3], что позволяет решать задачи энергосбережения и сохранения качества продукта. Управляющими функциями системы являются управление расходом и давлением пара на систему подогрева, что приводит к регулированию теплового потока от нее к грузу. Управление давлением пара обеспечивает также ограничение по максимальной температуре груза с целью избежать, например, порчи его и полимеризации на поверхности системы подогрева. Осуществляется также управление выбором технологической схемы подогрева в каждом конкретном случае. Алгоритмы управления должны отражать процедуры расчета управляющих воздействий для различных участков процесса [2; 3]. В [3] приведена разработка функциональной схемы системы управления процессом подогрева вязких грузов на основе мини-ЭВМ. Схема требует усовершенствования с учетом внедрения современных КСУ с использованием датчиков давления, температуры, расхода с преобразованием их показаний в удобные для использования сигналы. Так, например, в [4] разработкой сенсорной техники и внедрением на судах занимается фирма Baumer Sensoren, работающая в тесном взаимодействии с фирмами С. Е. Vant Hof (Нидерланды) и Navantia (Испания). В перечень их продукции входят различные датчики движения, температуры, уровня жидкости в танках и др. Все датчики изготавливаются из высококачественных сталей и специальных сплавов с высокой коррозионной стойкостью. Компания Kongsberg Maritime (Норвегия) разработала и выпускает новое оборудование для контроля состояния грузовых танков танкеров для перевозки нефти и химических продуктов [5]. Системы GL 300 включают в себя возможности оперативного контроля температуры, давления и состояние танка с использованием новейших датчиков и средств радиолокации в сочетании со средствами обработки сигналов.

Классификационное общество судоходства Японии (NK) издало руководство по судовой беспроводной локальной системе связи WLAN (Guideness on Shipboard Wireless Local Area Network) для передачи сообщений судно-берег [6]. Базовый проект системы WLAN включает пункт приема сообщений, распределительный щит сети, беспроводный терминал, который может быть персональным компьютером, или телефоном VOIP (Voice over internet protocol), контрольный сервер и кабели LAN.

Пункт приема устанавливается в любом помещении на судне, соединенный кабелями с распределительным щитом.

Изложены основные положения руководства по установке, комплектации и эксплуатации системы WLAN на судне.

Длительность пуска судовой турбины определяется начальным и текущим тепловым состоянием ее перед пуском и ограничивающими факторами. Одним из ограничивающих факторов является термическое напряжение, возникающее в фланцах горизонтального разъема цилиндра высокого давления (ЦВД). Конкретными ограничивающими факторами, подлежащими контролю, при пуске являются, например, разность температур по толщине фланца ЦВД. Разность температур по фланцу возрастает и через некоторое время достигает максимума, который может быть достаточно опасен. Оптимальный пуск должен сопровождаться максимальной допустимой скоростью нагружения гребного вала. При автоматизации пуска паротурбины выбирают разности температур в зоне камеры регулирующей ступени ЦВД по толщине фланца.

Задачи управления в судовой энергетике характеризуются широким спектром требований к быстродействию, надежности организации интерфейса, наличие сервиса и др. Микропроцессорные средства управления прошли путь от простейших систем до комплексных распределенных систем с развитыми возможностями реализации IT-решений [7]. Первые комплексы были аналоговыми, а потом появились программно-технические микропроцессорные системы. Комплекс имеет модульную структуру и является проектно-компонентным. Каждый из модулей имеет собственный микропроцессор, память, каналы ввода-вывода информации. Для решения типовых задач может быть использовано несколько видов модулей, которые отличаются набором каналов ввода-вывода и дополнительными функциями базового программного обеспечения. Каждый модуль помимо собственно технологической программы управления может выполнять диагностические и сервисные функции. Выполнение функций управления на средствах, однотипных с АСУТП позволяет упростить реализацию автоматизации пуска судовой турбины. В системах используются операционные системы UNIX SCO и X-WINDOWS и др. Среди новых элементов систем отличается WEB-сервер, который обеспечивает возможность представлять информацию в виде кадров, оснащенных стандартными WEB-браузерами. Данные можно вставлять в офисные приложения судоводных компаний, такие как Word, Excel, что позволяет, например, сформировать отчеты и другие документы. Решение поставленной задачи обеспечивается глубокой проработкой технологических алгоритмов контроля и управления, основанной на максимальном использовании возможностей аппаратуры. В качестве базового программного обеспечения может использоваться специализированный для судовой энергетике программный продукт, построенный на основе библиотеки и алгоритмов аппаратуры систем. Надежная работа алгоритмов управления

возможна лишь в случае уверенности в достоверности входной информации и гарантии правильности обработки управления воздействий [8].

Ниже предлагается алгоритм управления тепловым состоянием судовой паровой турбины (СПТ) в переходном режиме. Надежность СПТ при реверсировании определяет безопасность плавания судна в условиях маневрирования и, в значительной степени, зависит от теплового состояния. Экспериментальные результаты исследования в ОИИМФе [9] показывают, что ответственные детали турбины работают в условиях, близких к тепловому удару. При этом детали испытывают значительные термические напряжения, снижающие их надежность и долговечность.

Разработка автоматизированной системы управления тепловым состоянием СПТ в условиях маневрирования судна требует определения функциональных особенностей системы разработки и отладки алгоритмов. В работе рассматривается алгоритм управления тепловым режимом фланца корпуса СПТ в сечении кольцевой камеры паровпуска.

В [9] получены зависимости для расчета коэффициентов теплообмена (КТО) на внутренней и наружной поверхностях фланца. Коэффициенты определялись для наиболее тяжелого режима работы – режима реверса с полного длительного переднего хода на полный задний ход.

Сигналы с датчиков температуры пара и наружной среды могут поступать через усилитель постоянного тока на входные платы, установленные в системном блоке судовой ПЭВМ. Благодаря аналого-цифровым преобразователям (АЦП) проходит обработка поступающей информации, и отображение ее в реальном масштабе времени на мониторе ПЭВМ. Это позволяет, как определять температурное поле по ширине фланца горизонтального разъема турбины высокого давления (ТВД) в реальном времени, так и проводить прогнозирование теплового состояния фланца в развитии ближайших режимов.

Математическая модель, описывающая нестационарное тепловое состояние в нелинейной постановке по ширине фланца, имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial X}[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial X}] - c\rho(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = 0, \quad 0 < X < L < 0; \quad (1)$$

$$T(X, 0) = T_0(X) \quad (2)$$

$$\lambda \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right)_n + \alpha [T_n(\tau) - T_c(\tau)] = 0, \quad X = 0, X = L, \tau > 0 \quad (3)$$

где  $X$  – координата;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности;

$T$  – температура;

$T_n$  – температура среды (пара);

$L$  – ширина фланца;

$c\rho$  – удельная теплоемкость;

$\alpha$  – КТО;

$T_0, T_f$  – начальная температура и температура поверхности соответственно.

Изменения температурного поля фланца во времени  $\frac{\partial T}{\partial \tau}$  – являются функциями температуры пара  $T_{\bar{n}}$ . Алгоритм управления значением  $T_{\bar{n}}$  может рассматриваться из условий обеспечения температуры в точках по ширине фланца или на внутренней поверхности фланца  $T$  не выше допустимой  $T_{\bar{A}}$  или  $T_{\max}$ , исходя из заданной полосы температур пара при следующих ограничениях:

$$T_{c1} < T_c < T_{c2}; \quad \Delta T_D \leq [\Delta T_{\bar{A}}]. \quad (4)$$

Значения  $T_{\bar{A}}, T_{c1}, T_{c2}, \Delta T_{\bar{A}}$  задаются из условий опыта.

Здесь  $T_{c2}$  – максимальное значение температуры пара;

$T_{c1}$  – нижнее значение температуры пара в упомянутой полосе температур;

$T_D$  – рабочая температура.

Можно непрерывно проследивать на судовой ПЭВМ тепловое состояние фланца, используя дискретно поступающие данные относительно  $T_{\bar{n}}$  и температуры наружного воздуха  $T_{\bar{A}C}$ . При этом считается, что в памяти ПЭВМ имеются два массива одномерного поля фланца из 10-12 узловых точек и более. Первый массив соответствует непрерывному прослеживанию в реальном времени с учетом поступающей информации  $T_{\bar{n}}$  (пара) и  $T_{\bar{A}C}$ . Второй массив используется для прогнозирующих расчетов с целью своевременной выработки рекомендаций для системы управления.

Если предположить, что интервал времени  $\Delta \tau_2$  соответствует интервалу прогнозирования в момент  $\tau$ , в момент  $\tau + \Delta \tau_1$ , где  $0 < \Delta \tau_1 < \Delta \tau_2$ , необходимо ввести такие коррекции по  $T_{\bar{n}}$ , чтобы в момент времени  $\tau + \Delta \tau_2$  было обеспечено  $T < [T_{\bar{A}}], T_{c1} < T_c < T_{c2}$ . Значение  $\Delta \tau_2$  выбирается таким, чтобы было заведомо  $\Delta \tau_1 < \Delta \tau_2$ . Принимая параметры неизменными на отрезке  $\Delta \tau_2$ , можно определить в момент  $\tau + \Delta \tau_2$ , например, температурное поле  $T(\tau + \Delta \tau)$ . Чтобы определить величину отклонений от допустимых значений, т. е. найти значение  $[\Delta T]$ , необходимо использовать определенные соотношения

$$[\Delta T] = T - [T_{\bar{A}}] \text{ при } T - [T_{\bar{A}}] > 0, \quad (5)$$



$$[\Delta T] = T - [T_{\dot{a}}] \text{ при } T - [T_{\dot{a}}] < 0. \quad (6)$$

Если  $[\Delta T] = 0$  по формулам (5) – (6), то принимается решение не менять тепловой режим. В случае, если  $[\Delta T]$  не равны нулю, вычисляется поправка  $\Delta T_c$ . Используя данные первого массива температурного поля фланца, можно просчитать один вспомогательный вариант режима до момента  $\tau + \Delta\tau_2$ . Это режим при измененной температуре  $T_{\dot{a}}$ . По имеющемуся расчету температурного поля фланца от момента  $\tau$  до  $\tau + \Delta\tau_2$  определяется частная производная  $\frac{\partial T}{\partial T_c}$ . Значение  $T$  на данном отрезке времени рассматривается как некоторый функционал от температуры пара  $T_{\dot{a}}$

$$\Delta T = \left( \frac{\partial T}{\partial T_c} \right) \Delta T_c \quad (7)$$

Из условия (7) можно определить необходимые изменения для получения заданных значений  $\Delta T = -[\Delta T]$  в момент  $\tau + \Delta\tau_2$

$$\Delta T_c = -[\Delta T] \left( \frac{\partial T}{\partial T_c} \right) \quad (8)$$

Используя значения  $\Delta T_c$  и соотношения (4), можно определить рекомендации по изменению  $\Delta T_c$

$$T_{c1} < T_c + \Delta T_c < T_{c2} \quad (9)$$

$$T_{c1} - T_c < T_c + \Delta T_c < T_{c2}. \quad (10)$$

## Выводы

1. Управляющие системы, в первую очередь должны достаточно оперативно на базе упомянутых моделей разрабатывать рекомендации по коррекции теплового состояния фланца.

2. Управляющей функцией системы является температура пара, позволяющая осуществить регулирование теплового состояния фланца.

3. Математические модели и методы их реализации могут приниматься с различной степенью точности с учетом ограничений, упрощающих расчеты.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Варбанець Р.А., Ивановский В.Г., Кучеренко Ю.Н., Головань А.И. Интернет-мониторинг эксплуатационных режимов судовой энергетической установки // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип. 32. – С.123-127.
2. Мошнянский А.А., Мошнянский А.Ф., Чумак О.А. К вопросу подогрева пищевых грузов на танкерах при участии сюрвейерских компаний и создателей логистической сети // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вип. 18. – С.182-194.
3. Мошнянский А.Ф., Мулько В.И. Автоматизация и контроль режимов подогрева груза на танкерах. – М.: Транспорт, 1982. – 117 с.
4. Walldorf D. Sensortechnik im Schiffbau // Schiff und Hafen. – 2011. – 63. – № 11. S. 36-38.
5. Kongsberg extends its capabilities // Nav. Arcit. – 2010. – Sept., P. 120.
6. ClassNK releases guidelines on shipboard Wireless LAN systems // Ship. and Boat Int. – 2010. – Nov.-Dec. – P. 40 – 41.
7. Свидерский А.Г., Херпель Х., Кишки В.Л. Технические средства для автоматизации объектов энергетики // Электрические станции. – № 1. – 2004. – С. 17-25.
8. Биленко В. А. Функциональные возможности современных АСУТП ТЭС и новый уровень автоматики // Электрические станции. – № 1. – 2004. – С. 33-41.
9. Бурачков Б.М., Мошнянский А.Ф. Исследование процессов теплообмена в судовой турбине заднего хода // Судовые энергетические установки. – Л., 1980. – С.74-78.

Стаття надійшла до редакції 18.10.2016

### Рецензенти:

доктор технічних наук, професор кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **В.Г. Івановський**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету **В.В. Вичужанін**

УДК 621.9

Ю.А. Никифоров, Л.В. Кошарская

### ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СУДОВОЙ ТЕХНИКИ

*Рассмотрены вопросы выбора оптимальных способов по контролю и диагностированию технического состояния судовой техники, находящейся в процессе эксплуатации, техническом обслуживании или ремонте.*

*Ключевые слова: контролируемые параметры, состояние объекта, диагностирование, дефекты.*

*Розглянуто питання щодо вибору оптимальних засобів по контролю та діагностуванню технічного стану судової техніки, що знаходиться в процесі експлуатації, технічному обслуговуванні чи ремонті.*

*Ключові слова: контролюємі параметри, стан об'єкта, діагностування, дефекти.*

*The questions of choose optimal control and diagnosing processes about control and diagnosing technical state of ship's technic, wich is located in operation process, technical service or repairs.*

*Keywords: controlled parametres, subject condition, diagnostics, defects.*

**Целью статьи** является определение оптимальных подходов и методов определения технического состояния и диагностирования узлов, агрегатов и механизмов судовой техники в процессе их жизненного цикла.

Техническое состояние – это совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, обуславливающих его пригодность к безопасному и эффективному использованию по назначению в заданных условиях. В результате воздействия на судовые технические средства и конструкции различных внешних и внутренних эксплуатационных факторов (режимы работы, условия эксплуатации, воздействия обслуживающего персонала), происходит изменение их технического состояния.

Широкий диапазон условий и режимов эксплуатации, а также вариация начальных значений показателей качества объекта обуславливают значительную дисперсию в скоростях изменения технического состояния. Это приводит к тому, что при одной и той же наработке или продолжительности эксплуатации однотипные объекты имеют различное ТС.

Состояние объекта постоянно изменяется, в связи с этим любой объект можно характеризовать бесконечным множеством состояний. Однако для управления технической эксплуатацией важно различать

определенные группы состояний, исходя из следующих основополагающих принципов:

- какие действия должен предпринять и запланировать судовой экипаж и судоходная компания при достижении данного технического состояния судна или конкретного СТС;

- в течение какого срока (точно или примерно) эти действия должны быть предприняты.

В перечень возможных действий можно перечислить:

- выполнить (запланировать) ТО или ремонт;

- назначить срок следующей оценки СТС;

- заказать СЗЧ;

- изменить объем и периодичность ТО, контроля технического состояния;

- изменить режим использования СТС;

- откорректировать сорта применяемых топлив, масел, присадок.

С этой целью все множество возможных состояний, присущих данному объекту, в зависимости от соответствия или несоответствия свойств объекта определенным техническим требованиям делят как минимум на следующие подмножества, которые образуют виды технических состояний:

- исправное и неисправное;

- работоспособное и неработоспособное;

- по типу функционирования.

Когда речь идет о техническом состоянии, то всегда следует различать систему структурных параметров, описывающих его, (зазоры, износы, отложения и т. п.) и систему параметров, которые с той или иной достоверностью описывают это состояние [1; 2].

И если система структурных параметров контролируется непосредственно в процессе технического обслуживания (ТО) или ремонта в результате полной или частичной разборки, то в процессе технического использования информацию о техническом состоянии можно получить только в виде системы контролируемых параметров [3].

Контроль технического состояния – это процесс определения с определенной точностью технического состояния объекта.

Задача определения технического состояния может выполняться, когда объект эксплуатации находится в следующих условиях:

- в процессе подготовки к действию или хранения;

- в процессе функционирования;

- в процессе ТО или ремонта.

В процессе технической эксплуатации судов и их судовых технических средств (СТС) решаются три характерные задачи контроля технического состояния:

- проверка функционирования;

- проверка работоспособности;

- проверка исправности.

Проверку правильности функционирования и работоспособности осуществляют, в основном, при техническом использовании в процессе работы технического средства в заданном режиме.

Исправность проверяют в основном при ТО и ремонте. Проверка исправности является более полной, чем проверка правильности функционирования и работоспособности. Во всех случаях решения задач контроля эксплуатационник должен быть вооружен инструкцией, включающей определитель технического состояния (описание категорий системой параметров).

Определение технического состояния при подготовке к действию, как правило, ограничивается внешним осмотром и проверкой функционирования объекта или его отдельных компонент. По объему этот контроль наименьший. Для диагностирования судовой техники используется большое число различных методов.

В зависимости от характера взаимодействия объекта и технических средств диагностирования различают методы *функционального* и *тестового диагностирования*.

Методы *функционального* диагностирования основаны на наблюдении за функционированием объекта диагностирования, когда на него поступают только предусмотренные его алгоритмом функционирования рабочие воздействия. Эти методы применяют при техническом использовании, когда необходима проверка правильности функционирования и поиск повреждений, нарушающих его.

Процедура определения технического состояния объекта осуществляется посредством сравнения фактически обнаруженных признаков с описанными в различных документах, в том числе в инструкции завода-изготовителя. Когда объект находится под рабочим или тестовым воздействием, определяют диагностические признаки и затем сравнивают с соответствующими описаниями в инструкции, эта процедура называется диагностированием.

При необходимости производится поиск неисправности (дефекта), целью которого является определение места, причины и вида неисправности объекта.

Результатом диагностирования является заключение о техническом состоянии – диагноз.

В зависимости от признаков изменения судовой техники выделяют методы, основанные на *измерении и анализе параметров рабочих процессов*, и методы, основанные на *измерении и анализе физических измерений параметров* сопутствующих процессов, происходящих в объектах.

Методы *тестового диагностирования* объекта могут применяться при его ТО или ремонте, при хранении, а также перед использованием и после него, когда необходима проверка исправности объекта или его работоспособности и поиск повреждений. В этом случае на объект диагностирования подаются специально формируемые воздействия, кото-

рые стимулируют у объекта реакцию, сравниваемую с известными реакциями, соответствующими различным его состояниям.

Примером тестового диагностирования может служить метод определения технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя с использованием пневмо-индикатора. С помощью этого прибора поочередно подают сжатый воздух в цилиндры через индикаторные краны, когда газораспределительные органы закрыты.

О степени износа втулок цилиндров, поршней и поршневых колец судят по утечкам воздуха, которые измеряют по показаниям прибора.

Группу методов, используемую для измерения структурных параметров СТС, главным образом применяют в процессе ТО и ремонта объектов.

Несмотря на существенные различия в конструкции и принципе действия объектов судовой техники, операции определения технического состояния, посредством контроля достаточно узкого круга структурных параметров имеют много общего.

Наиболее типичными являются: *изменение геометрической формы деталей и нарушения структурной целостности* конструкционного материала (трещины, усталостные повреждения), шероховатость и др.

К числу наиболее распространенных физических методов диагностирования судовой техники относятся:

- визуальный контроль с использованием различных оптических средств (линзы, эндоскопы, волоконно-оптические устройства);
- виброакустический контроль;
- тензометрический контроль;
- ультразвуковой контроль;
- анализ продуктов износа в смазочном масле;
- метод акустической эмиссии и т. п.

Следует помнить, что как бы много не было контролируемых параметров, техническое состояние они описывают лишь косвенно и с конечной достоверностью, а исчерпывающее описание технического состояния может быть получено лишь при выполнении ТО и ремонта.

Цель контроля технического состояния состоит в том, чтобы:

- определить возможность использования объекта по назначению в заданном режиме нагружения и условиях эксплуатации;
- определить необходимость выполнения ТО или ремонта в том или ином объеме, включая подготовительные операции.

При диагностировании могут решаться следующие задачи:

- контроль работоспособности (проверка соответствия диагностических признаков технической документации) при этом возможны: качественный (допусковой) и количественный (запас работоспособности);
- поиск повреждения, выполняется при утрате работоспособности или значительном снижении ее запаса;

- прогнозирование состояния объекта (по характеру изменения диагностических параметров предсказывается их значение на будущее).

Важное значение для функционирования системы ТО и ремонта имеет степень полноты связи решаемых задач при диагностировании с выполнением восстановления и поддержания технического состояния. Наибольший эффект будет обеспечен, когда одновременно решаются задачи диагностирования в сочетании с контролем работоспособности, прогнозированием состояния и поиском повреждения.

При идентификации технического состояния объекта рассматриваются следующие источники информации.

Каждому объекту присущи определенные признаки (параметры, характеристики), несущие информацию об его техническом состоянии, т. е. описывающие его с той или иной достоверностью. Эти признаки можно разделить на три основные группы.

1. Рабочие параметры объекта и характеристики, которые определяют его работоспособность. Наиболее часто используемые параметры и характеристики: мощность, производительность, расход топлива, напор, частота вращения, подача, скорость и т. п., зависимости параметров друг от друга или времени, нагрузки и т. п. Эти параметры и характеристики, как правило, могут быть измерены, их контроль дает ответ на вопрос о работоспособности объекта, но не определяет места и вида повреждения.

2. Повреждения (износ, деформация, зазор, глубина и раскрытие трещины, степень коррозии и т. п.) являются основными диагностическими признаками. Они связаны с выходными параметрами функциональной зависимостью. Чем сложнее объект, тем больше число этих признаков и их одновременное диагностирование практически невозможно. Поэтому контроль повреждений обычно выполняется после контроля рабочих параметров объекта, когда требуется установить причины нарушения его работоспособности.

3. Косвенные диагностические признаки объектов, функционально связанные с рабочими параметрами объектов. Такими признаками могут служить концентрация в масле продуктов износа, акустические сигналы, изменения давления в системе, температуры деталей и т. п. Применение косвенных признаков позволяет оценивать техническое состояние объектов без их разборки. Однако из-за стохастического характера связи между косвенными признаками и рабочими параметрами, а также влияния на диагностический сигнал посторонних факторов в ряде случаев достоверность диагноза не отвечает предъявляемым требованиям. В общем случае техническое состояние описывается рабочими процессами и совокупностью повреждений, однако они не всегда оказываются доступными в полном объеме и могут быть привлечены косвенные диагностические признаки, с помощью которых появляется возможность с той или иной достоверностью судить о рабочих процессах и повреждениях.

Следует отметить, что инструкция по технической эксплуатации, разработанная заводом-изготовителем или судоходной компанией, вклю-

чаєт обычно как минимум три категории технического состояния объекта (если объект не контролируется между ТО с целью выявления неудовлетворительного состояния, необходимость в категории удовлетворительного состояния отпадает).

Однако к техническому состоянию объектов судовой техники могут быть предъявлены дополнительные требования со стороны вышестоящих организаций или органов, осуществляющих надзор за судами, которые в отличие от приведенных выше устанавливают требования в виде недопустимости дальнейшего использования по назначению (прилагается описание недопустимого технического состояния).

**Вывод.** Исходя из целей технической эксплуатации, определение технического состояния и диагностирование параметров представляет собой процесс установления принадлежности обнаруженного технического состояния, посредством контроля рабочих параметров, косвенных диагностических признаков или непосредственно повреждений, описанных в инструкции соответствующей категории технического состояния.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Перельман Р.С., Никифоров Ю.А. Комплексная автоматизация судовых энергетических установок: Учебн. пособие. – Одесса, 2008. – 312 с.*
2. *Сторожев В.П. Технология судоремонта: Учебник. – Херсон: ОЛДИ-ПЛЮС, 2014. – 552 с.*
3. *Никитин А.М. Управление технической эксплуатацией судов: Учебник. – СПб: Изд-во Политехнического ун-та, 2006. – 360 с.*

*Стаття надійшла до редакції 20.10.2016*

#### **Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теорія механізмів і машин й деталей машин» Одеського національного морського університету **А.В. Конопльов**

доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-організаційної роботи, професор кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету **А.В. Шахов**



УДК 532+697.94

С.В. Руденко, В.В. Челабчі

ОРИЕНТАЦІЯ ПРОЕКТУ  
«ПОВІТРООХОЛДЖУВАЧІ НЕПРЯМОГО ВИПАРНОГО ТИПУ»

*У роботі аналізується область застосування охолоджувачів повітря непрямого випарного типу. Описано результати теоретичних і експериментальних досліджень, виконаних за розглянутою проблемою.*

*Ключові слова: охолодження, повітря, випар, вода.*

*В работе анализируется область применения охладителей воздуха непрямого испарительного типа. Описаны результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных по рассмотренной проблеме.*

*Ключевые слова: охлаждение, воздух, испарение, вода.*

*The paper analyzes the scope of the indirect evaporative air cooler type. The results of theoretical and experimental studies performed on the considered problem.*

*Keywords: cooling, air, evaporation, water.*

**Вступ.** Пріоритетними напрямами розвитку цивілізованого суспільства є: поліпшення санітарно-гігієнічних умов середовища мешкання. Не менш важливо забезпечення комфортних умов роботи для працівників портів і підприємств морської галузі, що поза сумнівом, сприятиме зниженню енергетичних витрат, підвищенню продуктивності праці та зниженню травматизму [1].

У розвинених країнах помітна частина ресурсів і електроенергії (до 35 %) витрачається на забезпечення комфортних умов середовища проживання. Виробництво електроенергії зв'язане з викидами в атмосферу великої кількості вуглекислого газу і шкідливих речовин, що веде до підвищення температури атмосфери і її забрудненню.

Тому важливим є розвиток ресурсозберігаючих і економічно ефективних технологій, забезпечення загальної екологічної безпеки. Цьому сприяє організація виробництва дешевих, екологічно безпечних охолоджувачів повітря з малими витратами електроенергії при виробництві і в експлуатації [2].

В даний час повсюдно використовуються компресійні кондиціонери. Основні недоліки будь-яких компресійних кондиціонерів:

- порівняно висока собівартість (використання кольорових металів, складна технологія виробництва, що вимагає використання дорогого обладнання) і високі енерговитрати при виробництві;
- високі витрати електроенергії при експлуатації (0,35-0,45 кВт на виробництво одного кВт холоду).

Для охолодження напіввідкритих і відкритих приміщень та робочих зон компресійні кондиціонери практично не застосовуються (витрати на їх експлуатацію не виправдано великі).

Аналіз існуючих способів виробництва холоду для комфортного кондиціонування повітря дозволяє виділити як перспективну екологічно чисту і економічну технологію – випарне охолодження повітря, коли як агент, що витрачається, використовується вода [3-4]. Ці технології відрізняються малими витратами електроенергії при виробництві і в експлуатації та низькою собівартістю. Найбільш перспективними в плані технології виробництва і в експлуатації представляються охолоджувачі повітря побічно-випарного типу.

Окрім того варіанти таких охолоджувачів повітря можуть за безпечуватися додатковими змінними насадками, що перетворюють їх (в холодний час року) в конвертори тепла. У цьому випадку відбувається зміна повітря в приміщенні, при якій повітря, що покидає приміщення, підігріває свіже, що поступає в приміщення. Використання модульного принципу дозволяє легко організувати виробництво установок по спеціальних замовленнях з незвичайними співвідношеннями габаритів, специфічного дизайну та ін.

Представляється перспективним використання охолоджувачів повітря побічно-випарного типу на транспортних і військових установках в польових умовах, коли потрібно створити комфортні умови при мінімумі витрат енергії.

Заслугує на особливу увагу можливість використання пересувних охолоджувачів повітря для забезпечення комфортних умов в приміщеннях і робочих зонах (в трюмах і інших напіввідкритих приміщеннях) [5].

**Аналіз проблеми.** Функціонування охолоджувачів повітря побічно-випарного типу засновано на використанні ефекту непрямого випарного охолодження у розвиненій системі каналів.

Основою апарату є тепло-масообміну насадка утворена сукупністю водонепроникних пластин (плівок), покритих зволожуваним пористим матеріалом. Зовнішнє повітря поступає в сухі канали, де він охолоджується за рахунок теплообміну з сухою поверхнею пластини. Частина його прямує споживачу, а частина, що залишилася, прямує у вологі канали, де він насичається парами води, що випаровується з поверхні пористого матеріалу. На випаровування води відбирається тепло від повітря, що проходить в сухому каналі [3-5].

Вода (прісна, мінералізована або морська) є робочим агентом, що витрачається.

Охолоджувач повітря побічно-випарного типу відрізняється надто низьким споживанням електроенергії, яка витрачається тільки на прокачування повітря через охолоджувач [6-7] і частково (5-10 Вт) на обробку води.

Існують дві основні схеми організації потоків повітря [3; 5; 8]:

- схема перехресного струму (схема Мунтерса);
- схема протитечії (схема Нейхарта).

З точки зору мінімізації витрат на прокачування повітря схема Мунтерса має переваги. Проте схема Нейхарта дозволяє досягти нижчі температури охолодженого повітря.

В установках побічно-випарного типу можуть бути реалізовані різні варіанти схем руху повітря і способи подачі води до поверхні випаровування. Дослідженню ефективності охолоджувачів повітря побічно-випарного типу присвячено багато робіт, наприклад [9-11].

Знайти оптимальні схеми і режими роботи установок випарного охолодження повітря можна шляхом натурального експерименту при численних варіантних дослідженнях.

Обчислювальний (комп'ютерний) експеримент на основі математичного моделювання дозволяє провести дослідження швидше й дешевше [12]. Особливо важливо забезпечити достатню вірогідність одержуваних в експерименті результатів при мінімізації витрат.

Вірогідність інформації отриманої в обчислювальному експерименті в першу чергу залежить від того наскільки докладно й адекватно використовувані моделі описують процеси в системі. Моделі найчастіше формуються на основі феноменологічного підходу. Однак коли дослідженню підлягають уже існуючі системи, що перебувають в експлуатації, використовуються методи ідентифікації на основі обробки експериментальних даних. В багатьох об'єктах протікають взаємозв'язані процеси різної фізичної природи, що призводить до складної і громіздкої математичної моделі (система рівнянь різного типу).

Для вирішення окремих рівнянь успішно використовуються сучасні методи чисельного рішення. Проте спільне рішення усієї системи рівнянь математичної моделі об'єкту представляє певні труднощі.

Тому перспективним видається шлях використання комбінованого підходу. В цьому випадку результати моделювання процесів в окремих елементах об'єкту узагальнюються з використанням сучасних обчислювальних технологій. По суті справи створюється, тим або іншим способом, компактна математична модель кожного елемента об'єкту.

Комплексне моделювання процесів в об'єкті проводиться чисельними методами з використанням отриманих раніше моделей елементів.

**Методичне забезпечення обчислювального експерименту.**  
Робота велася за такими основними напрямками:

- створення засобів надійного прогнозування технічних характеристик розроблених конструкцій (апарат математичного моделювання та експериментальна база);
- аналіз споживчого попиту, встановлення областей ефективного використання випарного охолодження повітря і виділення перспективних типів повітроохолоджувачів;

– розробка типових конструкцій повітроохолоджувачів і опрацювання вузлових питань технології виробництва.

Математичне моделювання процесів тепло- і масопереносу і обміну в повітроохолоджувачі проводилося на двох рівнях. Для окремих елементів (входи в канали, канали складного профілю або з турбулізаторами) в якості математичної моделі використовувалася система рівнянь Нав'є-Стокса і Фур'є-Кірхгофа в природних змінних. Для моделювання цих елементів був розроблений ряд оригінальних обчислювальних процесів [14-15]. Цей підхід дозволяє уточнити залежність коефіцієнтів тепло- і масообміну від режимів течії середовищ. В якості основної математичної моделі процесів переносу в повітроохолоджувачі використовувалася система диференціальних рівнянь першого порядку інваріантна до схеми руху потоків повітря.

Зв'язок між значеннями температури повітря в сухому і вологому каналах здійснювався за рахунок рівняння, що описує процес теплопередачі крізь стінку, яка розділяє канали, з урахуванням процесу випаровування води у вологий канал.

Розглядалися два способи подачі води до поверхні випаровування:

- підйом води в пористої пластини за рахунок дії капілярних сил;
- подача води зверху матриці.

Для моделювання подачі води капілярним способом необхідно знати; пористість матеріалу  $Pz$ , коефіцієнт Дарси  $Kd$  і максимальна висота підйому рідини в матеріалі  $Hs$ . Експериментальне визначення значень зазначених показників трудомістко й вимагає спеціального устаткування. Розроблено оперативний метод, який дозволяє без спеціального встаткування (використовуються тільки секундомір і мірна лінійка) визначити величини  $Pz/Kd$  і  $Hs$  [13], а саме ці показники потрібні для розрахунку масопереносу.

На жаль, як показали розрахунки і натурні експерименти, при інтенсивному випаровуванні води частина верхніх каналів осушується і ефективність охолодження повітря знижується. Тому в основному розглядався варіант примусової подачі води зверху матриці (рис. 1).

**Результати досліджень.** Проводився обчислювальний експеримент і за його результатами було спроектовано і виготовлено модель та робочий варіант охолоджувача що працює за перехресною схемою течій. Результати обчислювального і натурального експерименту приведені на рис. 2 та рис. 3.

Результати обчислювального експерименту відбивалися лінією, а результати натурального експерименту – маркерами.

На рисунках використовуються позначення:

$t_a, d$  – відповідно температура і вологість атмосферного повітря;

$t_{out}$  – температура охолодженого повітря.

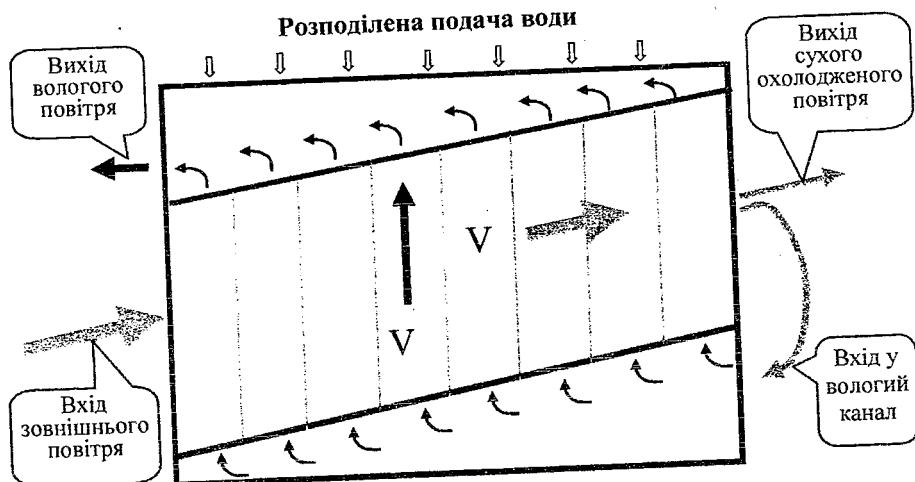


Рис.1. Схема перехресного струму (схема Мунтерса)

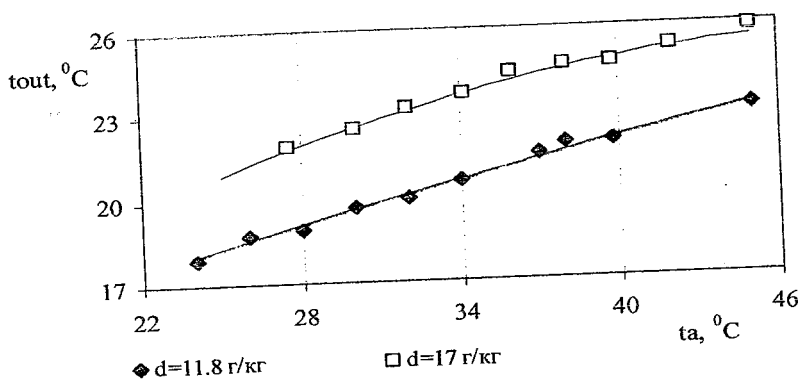


Рис. 2. Результати досліджень моделі охолоджувача

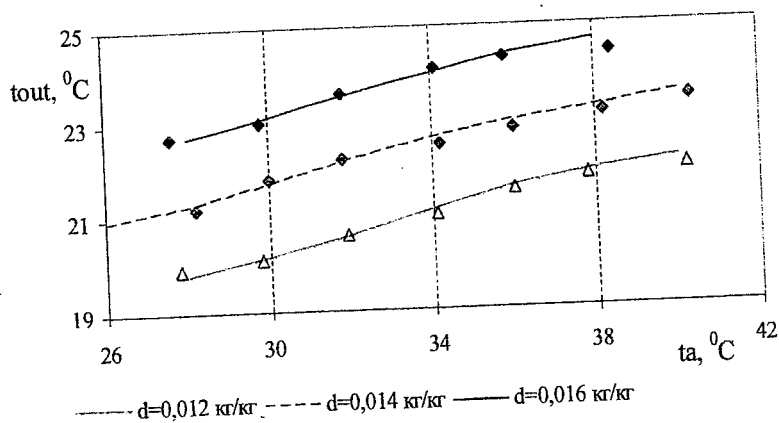


Рис. 3. Результати досліджень повномасштабного охолоджувача

Оскільки практично неможливо провести заміри параметрів повітря в каналах (зазор від 1,5 мм до 2 мм) фіксувалися інтегральні показники: температура і вологість повітря на вході і виході сукупності каналів.

Розроблені проекти модифікації виробів:

Варіант 1 – охолоджувачі для кабін транспортних засобів (автобуси і великовантажні автомобілі, катери, яхти) і для приміщень малою площею (до 20 м<sup>2</sup>). Продуктивність по повітрю 170-250 м<sup>3</sup>/год. при холодопродуктивності 0.8-1.2 кВт;

Варіант 2 – охолоджувачі для приміщень площею до 60 м<sup>2</sup>, (а також салонів автобусів і інших транспортних засобів). Продуктивність по повітрю 600-900 м<sup>3</sup>/год. при холодопродуктивності 3-4,5 кВт;

Варіант 3 – охолоджувачі для приміщень площею 100 м<sup>2</sup> і більш, напіввідкритих майданчиків, торгових павільйонів і пр. Продуктивність по повітрю 1000-2400 м<sup>3</sup>/год. і більш при холодопродуктивності 6-12 кВт і більше.

Тепло-масообмінні насадки всіх типів виробів базуються на однотипних елементах. Використовуються звичайні відцентрові вентилятори або діаметральні вентилятори оригінальної конструкції.

Для виготовлення насадки використовуються дешеві, екологічно безпечні і поширені матеріали: пластини або плівки на основі поліетилену, полістиролу або поліпропілену і пористі неткані матеріали на основі поліпропілену або целюлози (флізелін).

Кольорові і чорні метали використовуються мінімально (тільки електродвигун вентилятора, мініатюрний пристрій подачі і обробки води і деякі елементи корпусу).

Можливо варіювання співвідношення габаритних розмірів в широких межах.

*Таблиця 1*

*Порівняльна характеристика охолоджувачів повітря*

Показник	Компресійні (фреонові) кондиціонери	Охолоджувачі непрямого випарного типу	
		варіанти 1, 2	варіант 3
Сумарні відносні витрати електроенергії на виробництво холоду, кВт (електроенергії) / кВт (холоду)	0,30-0,45	0,06-0,12	0,05-0,09
Витрата води на виробництво 1 кВт часу холоду, кг	немає	1,7-2,0	1,9-2,0
Орієнтовна вартість виготовлення виробу (по відношенню до компресійних)	1	0,09-0,15	0,07-0,12

Для розроблених варіантів охолоджувачів повітря проведена оцінка собівартості виробів при їх дрібносерійному виробництві. Залежність відношення  $S/V$  (собівартість/продуктивність по повітрю) від  $V$  (продуктивність по повітрю) наведена в таблиці 2.

Таблиця 2

Залежність відношення  $S/V$  від  $V$

$V, \text{ м}^3/\text{г}$	300	600	900	1200	1800	2400
$S/V, \text{ гр./м}^3/\text{г}$	1,11	0,75	0,63	0,57	0,51	0,48

**Очікуваний ефект від реалізації проекту:**

- зниження енергетичних витрат на кондиціонування повітря в літній період в 5-8 разів і економія тепла в зимовий період на 10-15 %;
- мале витратне поліпшення умов праці і побуту за рахунок використання повітроохолоджувачів побічно-випарного типу;
- поліпшення екологічної обстановки за рахунок зниження шкідливих викидів в атмосферу при виробництві електроенергії;
- проникнення в незайняті сфери ринку з охолоджувачами повітря для відкритих і напіввідкритих приміщень і працюючими на морській воді.

**Висновки.** Повітроохолоджувачі побічно-випарного типу можуть використовуватися практично скрізь у побуті й промисловості, але особливо ефективні для напіввідчинених і відкритих приміщень. У цій області компресійні кондиціонери практично не застосовуються (витрати на їхню експлуатацію невиправдано високі). Охолоджувачі розглянутого типу можуть знайти застосування в місцях розташованих на березі моря або солоного озера при відсутності водопроводу й коли підвіз прісної води утруднений. Наприклад: окремі малі населені пункти, військові підрозділи й групи працівників, вилучені від центрів постачання.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Ломов О.П. Гигиенические основы обитаемости кораблей и судов / О.П. Ломов. – Л.: Судостроение, 1989. – 160 с.
2. Кокорин О.Я. Установки кондиционирования воздуха / О.Я. Кокорин. – М.: Машиностроение, 1978. – 264 с.
3. Лавренченко Г.К. Разработка косвенно-испарительных воздухоохладителей для систем кондиционирования / Г.К. Лавренченко, А.В. Дорошенко // Холодильная техника и технология. – 1988. – № 10. – С. 29-33.

4. Меркт Р.В. Використання непрямого випарного охолодження повітря / Н.Ф. Латій, Р.В. Меркт, В.М. Челабчі // Матеріали VIII міжнародної НПК «Наука і освіта '2005». – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – Т. 61. Техніка. – С. 40-42.
5. Merkt R.V. Ecologically clean cool-production on ships / R.V. Merkt, V.N. Chelabchi // Proceedings of the 6-th Congress of the IMAM. – Varna, Bulgaria, 1993. – Vol. 3. – P. 173-179.
6. Патент № 2046257. Российская Федерация. МКИ6 F 24 F 3/14. Установка для косвенно-испарительного охлаждения / В.С. Майсоценко, Н.П. Видяев, В.Н. Челабчи и др. // Открытия. Изобретения. – 1995. – № 29. – 11 с.
7. Дорошенко А.В. Новое поколение систем кондиционирования воздуха на основе комбинированных испарительных охладителей / А.В. Дорошенко, В.Х. Кириллов, О.В. Ефимова, А.А. Климчук // Холодильная техника и технология. – 2000. – № 67. – С. 57-68.
8. Anisimov S. Numerical study of the cross-flow heat and mass exchanger for indirect evaporative cooling / S. Anisimov, D. Pandelidis // Proceedings of the Xth international scientific conference «Indoor Air and Environment Quality» (May 13-20). – Budapest, 2012. – P. 149-156.
9. Меркт Р.В. Экономичные охладители воздуха испарительного типа / Р.В. Меркт, В.Н. Челабчи, Т.А. Диденко // Промышленная теплотехника. – Т. 23. – № 2. – 2001. – С. 51-53.
10. Меркт Р.В. Оптимизация воздухоохлаждающих испарительного типа / Р.В. Меркт, В.Н. Челабчи // Промышленная теплотехника. – Т. 25. – № 4. – 2003. – С. 167-168.
11. Меркт Р.В. Достижимые характеристики судовых охладителей воздуха испарительного типа / Р.В. Меркт, Н.Ф. Латій, В.Н. Челабчи // Сб. научн. трудов международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения науке, транспорте, производстве и образовании '2008». – Т. 4. – Одесса: Черноморье, 2008. – С. 33-36.
12. Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): Матеріали 1-ї Міжнародної науково-технічної конференції (10-13 травня 2011 р., Черкаси). – Черкаси: Маклаут, 2011. – 512 с.
13. Меркт Р.В. Оперативная идентификация транспортных свойств капиллярно-пористых материалов / Р.В. Меркт, Н.Ф. Латій, В.Н. Челабчи // Сб. Современные направления теоретических и прикладных исследований. – Одесса: НИИМФ-ОНМУ, 2007. – Т. 3. – С. 60-62.



14. Merkt R.V. *Computer simulation of associated transfer processes* / R.V. Merkt, V.V. Chelabchy // 36. наук. праць. Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – № 2. – С. 37-47.
15. Челабчи В.В. Численное моделирование течений в каналах / В.В. Челабчи, В.Н. Челабчи // *Materialy VI Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Stosowane naukowe opracowania – 2010»* // *Przenysil: Nauka i studia.* – 2010. – V. 8. – С. 17-22.
16. Merkt R.V. *Economical coolers of air of the evaporated type* / R.V. Merkt, V.N. Chelabchi, V.V. Chelabchi // *Сб. научн. трудов Sword.* – Вып. 3(36). – Т. 3. – Иваново: МАРКОВА АД, 2014. – С. 91 -93.

Стаття надійшла до редакції 14.10.2016

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету  
**В.В. Вичужанін**

доктор технічних наук, професор, в.о.завідувача кафедри «Вища математика» Одеської національної академії харчових технологій  
**В.Х. Кирилов**

**Андреев Олексій Вікторович** – кандидат технічних наук, заступник головного спеціаліста по композиційним матеріалам Державного підприємства «Антонов»

**Бичков Андрій Сергійович** – кандидат юридичних наук, заступник завідувача лабораторії інженерних, економічних, товарознавчих випробувань та оціночної діяльності, завідувач відділу криміналістичних випробувань транспортних засобів та супроводжуючих їх реєстраційних Державного науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України

**Єгоров Геннадій В'ячеславович** – доктор технічних наук, професор, генеральний директор Морського Інженерного Бюро, м. Одеса

**Єфремова Ніна Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

**Ільницький Ігор Анатолійович** – перший заступник генерального директора Морського Інженерного Бюро, м. Одеса

**Калугін Андрій Валерійович** – доктор технічних наук, завідувач кафедри Конструкцій та проектування ракетної техніки Національного аерокосмічного університету ім. Н.С. Жуковського «ХАІ»

**Кондратьєв Андрій Валерійович** – доктор технічних наук, завідувач кафедри Конструкцій та проектування ракетної техніки Національного аерокосмічного університету ім. Н.С. Жуковського «ХАІ»

**Кононова Ольга Миколаївна** – старший викладач кафедри «Теорія механізмів і машин й деталей машин» Одеського національного морського університету

**Кошарська Людмила Вікторівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету

**Кутяков Дмитро Володимирович** – старший викладач кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

**Мошнянський Анатолій Федорович** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

**Мошнянський Олексій Анатолійович** – заступник директора сюрвеєрської компанії «Югас»

**Никифоров Юрій Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету

**Руденко Сергій Васильович** – доктор технічних наук, професор, ректор Одеського національного морського університету

**Сухір Ефраїм** – професор, UNIVERSITY OF CALIFORNIA

**Федорова Катерина Юріївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Інженерні конструкції та водні дослідження» Одеського національного морського університету

**Челабчі Володимир Вікторович** – старший викладач кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

**Чумак Оксана Андріївна** – асистент кафедри «Технічна кібернетика ім. проф. Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

**Шумило Олександр Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія механізмів і машин й деталей машин» 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 Cyr, 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. Індокси 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 графі. 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 одноярусній головці усі заголовки пишуться з великої літери.

У дво- і багатоярусній 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., Тонюк 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). Оpubл. 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.

*Наукове видання*

**ВІСНИК  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**Збірник наукових праць**

**Випуск 2 (48)**

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 16.11.2016.  
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 14,9 .  
Замовлення № 192.

Надруковано у Видавництві ОНМУ  
65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.  
Тел. 728 31 14