

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА

№ 38/39

RESEARCH BULLETIN

BY RUSSIAN MARITIME REGISTER OF SHIPPING



Санкт-Петербург
2015

ОБРАЩЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА РС



Выход нового выпуска журнала «Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства» приурочен ко Дню работников морского и речного флота.

Работа на морском и речном транспорте – это нелегкий труд, труд профессионалов своего дела, посвятивших свою жизнь морю, связавших с морем свою судьбу и судьбу своей семьи. Поэтому для Российского морского регистра судоходства обеспечение безопасности человеческой жизни на море является первоочередной целью. Любое требование, которое мы разрабатываем и внедряем в нормативные документы, прежде всего направлено на достижение этой цели.

При выполнении научных исследований, участии в работе отечественных и международных организаций (ИМО, МАКО и др.) безопасность человеческой жизни на море служит нам ориентиром, от которого мы не можем и не имеем права отклониться. Поэтому наиболее ценной наградой для нас являются благодарность моряков, их уважение, признание качества наших услуг по техническому наблюдению за проектированием, постройкой и эксплуатацией судов.

Сегодня Регистр развивает новые области предоставления классификационных услуг, связанные с активным внедрением в судостроительной промышленности инновационных технических решений и высокотехнологичного оборудования, а также проектированием и строительством новых типов судов, что, в первую очередь, обусловлено развитием транспортной системы в Арктике и освоением месторождений арктического шельфа.

Российский морской регистр судоходства активно участвует в реализации крупных проектов в Республике

Корея. В апреле 2015 года на верфи Samsung Heavy Industries началось строительство серии из шести арктических челночных танкеров ледового класса **Arc7** для Новопортовского месторождения. В этом же месяце на верфи STX Offshore & Shipbuilding состоялась церемония именнаяречения газовоза СПГ «СКФ Митре», который завершает серию из четырех судов, построенных под техническим наблюдением Регистра. Три судна данной серии – «Великий Новгород», «Псков» и «СКФ Мелампус» – уже успешно эксплуатируются. В рамках разработки масштабного российского проекта «Ямал СПГ» на верфи Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering под техническим наблюдением Регистра ведется строительство новой серии газовозов ледового класса **Arc7** для перевозки СПГ. Церемония закладки киля первого судна из серии в 15 судов состоялась в марте этого года.

На территории Российской Федерации также осуществляется ряд важнейших проектов под техническим наблюдением Регистра. В мае 2015 года на Балтийском заводе состоялась церемония закладки первого судна из серии атомных ледоколов проекта 22220 ледового класса **Icebreaker9**. Суда этого проекта – новый тип российских атомных ледоколов и новая ступень в истории отечественного ледоколостроения. Их постройкой закладывается будущее российского ледокольного флота, открывается следующая страница в развитии арктического судоходства. В июне этого года в эллинге Невского судостроительно-судоремонтного завода началось строительство двух многофункциональных спасательных судов проекта MPSV12 ледового класса **Arc5**.

Перечисленное выше – лишь часть широкого спектра работ при непосредственном участии Регистра. Их выполнение невозможно без надежной нормативной базы, в основе которой лежат результаты научных исследований. В текущем году Регистром совместно с ведущими отечественными научными центрами реализуется более 20 научных проектов, значительная часть которых направлена на совершенствование требований к судам ледового плавания и разработку специального программного обеспечения. Результаты работ не только внедряются в практику Регистра, но и публикуются в виде статей в журнале «Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства».

От имени коллектива Регистра поздравляю всех работников морского и речного флота с профессиональным праздником. Уверен, что ваш профессионализм и преданность любимому делу — гарантия безопасности человеческой жизни на море и защиты окружающей среды!

С.Н. Седов,
генеральный директор
ФАУ «Российский морской регистр судоходства»

ОБРАЩЕНИЕ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

В новом выпуске журнала «Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства» представлены статьи, подчеркивающие ряд важных тенденций в развитии отечественного и мирового судостроения и судоходства.

В частности, в разделе «Безопасность мореплавания и охрана окружающей среды» представлена статья об основных результатах разработки требований Полярного кодекса - одного из нормативных документов ИМО. Вступление в силу Полярного кодекса окажет существенное влияние на эксплуатацию судов в полярных водах, условно разделив всю историю арктического мореплавания на периоды «до» и «после» принятия этого документа. Автором проведен обзор требований кодекса с акцентом на то, какие из них являются наиболее важными для судовладельцев, операторов судов, изготовителей судового оборудования и других заинтересованных сторон. Особо выделено требование о наличии на судне «Свидетельства о плавании в полярных водах», выдаваемого Морской Администрацией или по ее поручению признанной организацией. Учитывая необходимость сохранения стратегического преимущества в области арктического мореплавания, становится очевидной необходимость гармоничного взаимодействия всех заинтересованных сторон при обеспечении выполнения требований Полярного кодекса в Российской Федерации.

Впервые в журнале представлены рубрики «Экономика и управление на морском транспорте» и «Контейнерные перевозки». В рамках первой публикуются статьи, связанные с организацией работы флота, оптимизацией состава судов, обзором современных тенденций строительства судов и объектов морского шельфа, экономикой судостроительной промышленности. Вторая рубрика посвящена прикладным вопросам развития контейнерных перевозок, разработке и сертификации новых типов контейнеров. Представленная в ней статья посвящена реализации уникального проекта по созданию контейнера-цистерны из полимерных композиционных материалов, выполненного совместно Регистром и Сколковским институтом науки и технологий.

Мы рады видеть интерес к публикации статей в журнале не только у ведущих научных, образовательных центров и проектно-конструкторских бюро, но и со стороны судовладельцев и организаций, непосред-

венно занимающихся эксплуатацией флота.

В журнале представлены статьи, отражающие взгляд «эксплуатационников» на опыт использования установок обработки балластных вод на судах, подготовки экипажей судов для перевозки СПГ, на риски эксплуатации, связанные с динамическим позиционированием судов, и перспективы применения системы мониторинга техни-

ческого состояния корпуса при освидетельствовании судна классификационным обществом.

Исключительно важен интерес и со стороны отечественных производителей судового оборудования и энергетических установок: в разделе «Механические установки и движители» представлена статья о разработке нового поколения отечественных судовых дизельных двигателей и дизель-генераторов.

Мы продолжаем публикацию материалов, связанных со столетием Научно-технического совета Регистра. Выпуск журнала открывается заметкой о 125-летию со дня рождения профессора Ленинградского кораблестроительного института, члена Научно-технического совета РС, выдающегося ученого в области проектирования конструкций корпуса морских судов Николая Евграфовича Путова. Н.Е. Путов – выдающийся ученый-практик, не только подготовивший ряд классических монографий по вопросам проектирования корпуса судна, но и создавший научную школу, которая сегодня включает ряд известных «прочнистов» и судостроителей. Докторская диссертация Н.Е. Путова стала основой правил Регистра 1956 года – первых правил постройки цельносварных корпусов, которые позволили проектировать и строить отечественные сварные суда традиционных и новых типов.

Выражаю искреннюю благодарность всем авторам статей и надеюсь на дальнейшее творческое сотрудничество!



С уважением,
главный редактор журнала,
к.т.н. М.С. Бойко



СОДЕРЖАНИЕ

Седов С.Н. Обращение генерального директора . . . 2

Бойко М.С. Обращение главного редактора. 3

ОБОЗРЕНИЕ 6

БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Шурпяк В.К. Полярный кодекс ИМО:
предварительный анализ первой части
(требования по безопасности). 8

Зиненко Н.Н. Опыт эксплуатации
установок обработки балластных вод на судах . . 17

Егоров Г.В., Егоров А.Г. Исследование надежности
и риска эксплуатации отечественных речных
круизных пассажирских судов 22

Кладиев П.Г., Киселев П.А. Анализ инцидентов,
связанных с динамическим позиционированием
судов 36

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Чернов О.А. Современные тенденции развития
мирового флота и морских перевозок. 38

*Таровик О.В., Бахарев А.А., Топаж А.Г., Косоротов А.В.,
Крестьянцев А.Б., Кондратенко А.А.*
Имитационная модель работы флота
как инструмент анализа эксплуатационных
параметров судов и обоснования проектных
решений. 46

Киселев С.А., Петров А.А. Тяговое усилие
как оптимальная характеристика для определения
необходимого числа буксиров в порту 52

ПРОЧНОСТЬ СУДОВ И ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ

Баскакова Е.В., Кочегаров В.П. Мониторинг
технического состояния корпусов морских судов 56

Добродеев А.А., Сазонов К.Е., Тимофеев О.Я.
Глобальная ледовая нагрузка на морские
инженерные сооружения. Методы определения . . 61

S.N. Sedov RS CEO address

M.S. Boyko Editor-in-Chief address

NEWSROOM

MARITIME SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

V.K. Shurpyak IMO Polar Code: preliminary review
of first part (safety requirements)

N.N. Zinenko Ballast water treatment plant operation
on board ships

G.V. Yegorov, A.G. Yegorov A reliability and operation
risk study of domestic river passenger cruisers

P.G. Kladiyev, P.A. Kiselev Review of incidents related
to dynamic positioning of ships

SEA TRANSPORT ECONOMICS AND MANAGEMENT

O.A. Chernov Up-to-date trends in world fleet
and marine shipping development

*O.V. Tarovik, A.A. Bakharev, A.G. Topazh, A.V. Kosorotov,
A.B. Krestyantsev, A.A. Kondratenko* Simulation model
of fleet operation as a tool of ship service parameters
analysis and marine transportation system design

S.A. Kiselev, A.A. Petrov Tow force as an optimal
characteristic to determine the number of tugs required
in port

STRENGTH OF SHIPS AND FLOATING FACILITIES

Ye.V. Baskakova, V.P. Kochegarov Monitoring
the technical condition of sea-going ship hulls

A.A. Dobrodeyev, K.Ye. Sazonov, O.Ya. Timofeyev
Global ice load on offshore engineering structures.
Determination methods

МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СУДОВ

Кутейников М.А., Ярисов В.В. Предложения по корректировке требований Регистра к оценке остойчивости крупнотоннажных парусно-моторных судов 66

МАТЕРИАЛЫ И СВАРКА

Баишев В.К., Ильин А.В., Филлин В.Ю., Гусев М.А. Об определении хладостойкости современных высокопрочных сталей для арктических конструкций 74

МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИЖИТЕЛИ

Дорохов А.Ф., Дорохов П.А. Сравнительная оценка качества судовых дизелей 80

Коновалов В.В., Хильченко С.В., Архипов А.О., Бойко В.В. Новое поколение судовых дизельных двигателей и дизель-генераторов ОАО «ЗВЕЗДА» 86

Борусевич В.О., Габерцеттель Ф.И., Пустошный А.В., Фролова И.Г. О развитии требований к движителям судов двойного действия 94

Сазонов К.Е. Оценка изменений тяговых характеристик движительного комплекса судна, двигающегося задним ходом во льдах 97

КОНТЕЙНЕРНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

Ушаков А.Е., Сергеевичев И.В., Фетисов А.В., Докучаев С.В. Разработка и сертификация контейнера-цистерны с несущим сосудом из полимерных композиционных материалов для мультимодальных перевозок продуктов химии и нефтехимии 101

НЕФТЕГАЗОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Муравьева Л.В. Анализ сейсмического риска эксплуатации трубопроводов, прокладываемых по дну Каспийского моря 106

ПРОБЛЕМЫ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

Коноплев М.А. Основные аспекты подготовки экипажей судов для перевозки СПГ 110

Никитина В.Н., Ляшко Г.Г., Разлетова А.Б. Проблемы обеспечения безопасности мореплавания автоматизированных морских судов 113

АННОТАЦИИ 117**ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ** . . 126**SEAWORTHINESS**

M.A. Kuteinikov, V.V. Yarisov Proposals for correcting the RS requirements to large motor-sail ship stability assessment

MATERIALS AND WELDING

V.K. Bashayev, A.V. Ilyin, V.Yu. Filin, M.A. Gusev Cold resistance determination in modern higher-strength steels for arctic structures

MACHINERY INSTALLATIONS AND PROPULSION

A.F. Dorokhov, P.A. Dorokhov Comparative assessment of marine diesel engine quality

V.V. Kononov, S.V. Khilchenko, A.O. Arkhipov, V.V. Boiko A new generation of marine diesel engines and generators built by "ZVEZDA", JSC

V.O. Borusevich, F.I. Gaberzettel, A.V. Pustoshny, I.G. Frolova Development of requirements for double-action ship propulsors

K.Ye. Sazonov Assessment of propulsion performance modifications in the propulsion unit of ship in astern movement in ice

CONTAINER SHIPPING

A.Ye. Ushakov, I.V. Sergeichev, A.V. Fetisov, S.V. Dokuchayev Development and certification of tank container comprising a holding vessel of polymer composite materials for multimodal transportation of chemical and petrochemical products

OIL AND GAS FACILITIES

L.V. Muraviyeva Analysis of seismic risks associated with the operation of pipelines laid on the Caspian Sea bottom

HUMAN ELEMENT PROBLEMS

M.A. Konoplev Main aspects of ship crew training for LNG carriage

V.N. Nikitina, G.G. Lyashko, A.B. Razlyotova Maritime safety assurance on board automated sea-going ships

ANNOTATIONS**ARTICLE SUBMITTAL REGULATIONS**

ОБОЗРЕНИЕ

К 125-ЛЕТИЮ НИКОЛАЯ ЕВГРАФОВИЧА ПУТОВА*



С деятельностью Российского морского регистра судоходства связаны имена многих выдающихся русских ученых и кораблестроителей. Одним из научных деятелей, внесших бесценный вклад в развитие требований Регистра, был Николай Евграфович Путов (1890 – 1960 гг.).

Н.Е. Путов, профессор (1939 г.), доктор технических наук (1948 г.), Заслуженный деятель науки и техники (1966 г.) вошел в историю отечественного судостроения как один из выдающихся ученых-кораблестроителей, создавший дисциплину и школу проектирования сварных стальных конструкций корпуса морских судов.

Н.Е. Путов родился 11 декабря 1890 г. в г. Острог (Украина). Окончил гимназию с золотой медалью в 1911 г., а в 1917 г. – Петроградский политехнический институт. Руководителем его дипломного проекта был профессор С.П. Тимошенко, выдающийся, всемирно известный ученый-механик.

По окончании института Н.Е. Путов поступил на работу в Петроградский порт. В период 1924 – 1936 гг. он в качестве представителя Регистра СССР осуществлял техническое наблюдение за процессом проектирования корпуса более 30 судов. Работая старшим инспектором на заводе «Северная верфь», вел наблюдение за постройкой судов и участвовал в приемке их Государственной комиссией. Работая в Регистре СССР, Н.Е. Путов посетил ряд верфей Западной Европы и Англии.

С 1920 г. параллельно с инженерной деятельностью Н.Е. Путов ведет преподавательскую работу на кафедрах двигателей внутреннего сгорания Технологического и Политехнического институтов. В 1930 г. в должности доцента он читает курс «Конструкция судов» в только что образованном Ленинградском кораблестроительном институте (ЛКИ). Кроме того, он преподает и в Ленинградской промышленной академии. В 1936 г. кафедра «Архитектура корабля» в ЛКИ, возглавляемая проф. В.Л. Поздюниным, была разделена на три кафедры: «Проектирование судов», «Технология судостроения» и «Конструкция судов», последнюю возглавил Н.Е. Путов. В 1941 г. он был избран деканом кораблестроительного факультета.

После возвращения в 1945 г. из эвакуации проф. Н.Е. Путов продолжил руководство кораблестроительным факультетом (до 1950 г.) и кафедрой (до 1972 г.). В эти годы Николай Евграфович много работал над совершенствованием качества подготовки и воспитания тысяч инженеров-кораблестроителей для отечественного судостроения и других отраслей промышленности.

Большой заслугой проф. Н.Е. Путова является насыщение курса «Конструкции корпуса» научным содержанием и выводами, раскрывающими диалектику развития судовых конструкций и рациональные методы их проектирования, что способствовало созданию дисциплины «Проектирование конструкций корпуса морских судов».

Н.Е. Путов постоянно интересовался проблемами совершенствования судовых конструкций, повышения их надежности, консультировал специалистов по вопросам обеспечения надежности сварных судовых конструкций и по другим проблемам. В период постройки первого в мире атомного ледокола

* На основе статьи М.К. Глозмана, В.Н. Лазарева «Николай Евграфович Путов (к столетию со дня рождения)» // Труды ЛКИ. Проблемы проектирования конструкции судов. – Л., 1990 г. – С. 3–8.

«Ленин» Николай Евграфович сотрудничал с главным конструктором ледокола В.И. Негановым и его заместителем Б.Я. Гнесиным.

Многие годы проф. Н.Е. Путов был членом Научно-технического совета Регистра СССР, членом и председателем Экспертной комиссии по судостроению и членом Высшей аттестационной комиссии при Минвузе СССР, председателем секции «Конструкция судов» при областном Правлении НТО, работал над монографиями по проектированию конструкций корпуса морских судов, научными трудами и переводами по фундаментальным и практическим проблемам судостроения. Среди них: «Палубные перекрытия морских транспортных судов» (1966 г.), «Проектирование конструкций корпуса морских судов» (часть I – 1976 г., часть II – 1977 г.) – этот двухтомник и по сей день может считаться настольной книгой специалистов, занимающихся вопросами определения величины внешних сил, действующих на корпус судна. В книге последовательно изложены различные методы определения как нагрузок на корпус судна на тихой воде, так и волновых нагрузок в детерминированной и вероятностной постановках, включая определение

нагрузок при слеминге и волновой вибрации, определение температурных напряжений, вопросы нормирования прочности. Приведен подробный анализ всех основных факторов, влияющих на величину внешних сил, математические выкладки доведены до численных результатов.

Докторская диссертация Н.Е. Путова (1948 г.) стала основой для разработки части II «Корпус» Правил Регистра СССР издания 1956 г. Это были первые правила постройки цельносварных корпусов, которые позволили проектировать и строить отечественные сварные суда традиционных и новых типов.

Богатая инженерная интуиция, глубокие знания многих кораблестроительных дисциплин помогали Н.Е. Путову принимать технически обоснованные и экономически оправданные решения при рассмотрении или экспертизе различных проблем проектирования корпусных конструкций. Все это определило его авторитет и обеспечило уважение со стороны широкого круга судостроителей как в нашей стране, так и за рубежом.

В честь 125-летия со дня рождения Николая Евграфовича Путова Российским морским регистром судоходства совместно с Санкт-Петербургским Государственным морским Техническим Университетом и ПАО «Совкомфлот» 23 и 24 июня 2015 г. была проведена Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные задачи развития судостроения и судоходства». Конференция представляла собой площадку для обсуждения вопросов проектирования и эксплуатации современных судов и средств океанотехники, технологии судостроения и судоремонта.

Мероприятие вызвало интерес в широких кругах судостроительной индустрии. Более 120 представителей судоходных компаний, конструкторских бюро, научных организаций и высших учебных заведений в течение двух дней

обсуждали наиболее актуальные вопросы и делились инновациями в области проектирования судов и морской техники. Стоит отметить, что конференция объединила не только российских специалистов, но и гостей из-за рубежа.

В программе конференции сохранились доклады по следующим тематикам: обеспечение соответствия требованиям Международного кодекса для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (т.н. Полярный кодекс), разработанного ИМО; предотвращение загрязнения морских экосистем балластными водами; развитие нормативных требований Регистра и МАКО к движителям; обеспечение безопасности судов в ледовых условиях и др.

Мероприятие затронуло аспекты, касающиеся строительства и проектирования ледоколов и судов ледового плавания, а также вопросы,

связанные с вступлением в силу Полярного кодекса. Данная тема особенно актуальна и для Российской Федерации, и для Регистра в частности, так как около 90 % строящихся на класс РС судов имеют различные категории ледовых усилений. Российский морской регистр судоходства признан мировым лидером в области разработки стандартов безопасности для судов ледового плавания.

В ходе конференции эксперты обсудили современное состояние судостроительной промышленности, стоящие перед ней задачи, а также мировые тенденции в развитии морских перевозок.

Особое внимание участники уделили и вопросам проектирования судов из полимерных композитных материалов.

По итогам конференции был выпущен сборник тезисов докладов.



БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В.К. Шурпак

канд. техн. наук,
ФАУ «Российский морской
регистр судоходства»



ПОЛЯРНЫЙ КОДЕКС ИМО: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРВОЙ ЧАСТИ (ТРЕБОВАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ)

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних нескольких лет Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах, т.н. «Полярный кодекс» (ПК), был одним из самых ожидаемых документов в морской отрасли. Поскольку принятие такого документа затрагивает интересы очень многих судовладельцев и прежде всего российских, в прессе публиковалась различная непроверенная информация. В настоящее время Комитет по безопасности на море Международной морской организации (ИМО) принял часть I ПК, и появилась возможность подвести некоторые итоги работы над этим международным документом.

Слово «предварительный» в заголовке статьи отражает то обстоятельство, что часть II ПК, регулирующая вопросы природоохраны в полярных районах, еще ожидает своего принятия. Кроме того, хотя часть I ПК принята, продолжается разработка некоторых рекомендательных руководств, облегчающих понимание и выполнение требований отдельных глав кодекса. Одним из намерений автора было информирование

судовладельцев и операторов о новых задачах, поставленных ПК, которые предстоит им решать. Материал статьи может быть полезен также для проектировщиков, строителей, разработчиков и изготовителей судового оборудования, инспекторов государственного портового контроля и др.

1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ПК И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ, ЗАЛОЖЕННЫЕ В ЕГО ОСНОВУ

Международным инструментом по созданию различных норм в морской отрасли является ИМО, принявшая в ноябре 2014 г. часть I Международного кодекса для судов, эксплуатирующихся в полярных водах [1, 2]. ИМО является специализированным учреждением в системе ООН, в задачи которого входит предоставление правительствам возможности сотрудничества в области государственного регулирования аспектов безопасности торгового мореплавания, охраны международного судоходства и защиты окружающей среды. Кроме того, ИМО наделена международным сооб-

ществом полномочиями рассматривать проблемы административного и юридического характера, относящиеся к указанным сферам деятельности, и принимать для их решения соответствующие документы обязательного или рекомендательного характера.

Активная деятельность ИМО по созданию международных норм и правил, конвенций и кодексов направлена в первую очередь на повышение безопасности судоходства и охрану окружающей среды. Однако не меньшее значение для развития судоходства имеет вторая сторона деятельности ИМО – интернационализация технических норм и стандартов, которая положительно влияет на развитие международного разделения труда в судоходстве и создание здоровой конкуренции. В своей деятельности ИМО постоянно охватывает новые сферы, связанные с судоходством; разрабатываются специальные требования к различным типам судов и морских сооружений; нормы ИМО развиваются вместе с развитием техники и часто являются реакцией на отдельные события в области судоходства, в т.ч. печальные. Очередной задачей, поставленной ИМО, является разработка обязательных требований для судов, совершающих плавание в полярных водах.

Вопросы безопасности мореплавания, защиты окружающей среды и подготовки экипажей судов, плавающих в жестких или экстремальных условиях высоких широт, уже находили свое отражение в документах ИМО до принятия ПК.

Впервые предложение о разработке ПК обсуждалось ИМО в 1996 г., однако ввиду недостаточного объема данных, обусловленного отсутствием надлежащего опыта плавания в водах Арктики у большинства государств-членов ИМО, было решено ограничиться разработкой инструмента, имеющего статус рекомендации. Таким документом и стало Руководство для судов, эксплуатирующихся в покрытых льдами арктических водах – совместный циркуляр Комитета по безопасности на море (КБМ) и Комитета по защите морской среды (КЗМС) ИМО [6]. Этот документ является первым сводом требований, отражающих специфику условий плавания в высоких широтах Арктики, а именно: лед, низкие температуры воздуха, полярная ночь, обледенение, резкие смены погоды и т.п. Хотя [6] имело статус рекомендации, оно было принято многими государствами флага как единственный международный документ, дополняющий требования международных конвенций при совершении плавания в полярных водах [3–5].

В 2010 г. Подкомитет по проектированию и оборудованию судов (DE) ИМО приступил к пересмотру вышеназванного руководства с целью разработки обязательных требований к таким судам – Полярного кодекса. Основным доводом в пользу его разработки были представленные данные об

интенсификации судоходства и рыболовства в приполярных районах, расширение деятельности по разведке и добыче полезных ископаемых на континентальном шельфе Арктики и интенсивная эксплуатация пассажирских круизных судов в полярных районах, т.н. «полярный туризм». Дополнительным стимулом послужили две крупные аварии у берегов Антарктиды: гибель т/х «Explorer» 24 ноября 2007 г. (к счастью, обошлось без жертв, были спасены 100 пассажиров и 54 члена экипажа) и авария круизного лайнера "Ushuaia" 5 декабря 2008 г., при которой были спасены и все 89 пассажиров и 33 члена экипажа, и судно, хоть предотвратить разлив нефтепродуктов не удалось.



Рис.1 Гибель т/х «Explorer» у берегов Антарктиды 24 ноября 2007 г.

Нельзя не упомянуть еще об одной побудительной причине для разработки ПК – существование в Арктике (точнее, в наиболее пригодных для судоходства ее районах) различных режимов плавания с различными правилами. В первую очередь, таковыми являются правила [8, 9], установленные Канадой в акватории т.н. Северо-Западного прохода, и Правила плавания в акватории Северного морского пути (СМП) [10], установленные РФ. Оба эти режима установлены благодаря статье 234 Конвенции ООН по морскому праву (UNCLOS, 1982 г.) [11], предоставляющей прибрежным государствам возможность «...принимать и обеспечивать соблюдение недискриминационных законов и правил по предотвращению, сокращению и сохранению под контролем загрязнения морской среды с судов в покрытых льдами районах в пределах исключительной экономической зоны, где особо суровые климатические условия и наличие льдов, покрывающих такие районы в течение большей части года, создают препятствия либо повышенную опасность для судоходства, а загрязнение морской среды могло бы нанести тяжелый вред экологическому равновесию или необратимо нарушить его. В таких законах и правилах должным образом принимаются во внимание судоходство и защита и сохранение морской среды на основе имеющихся наиболее достоверных научных данных».

Упомянутые выше правила Канады и РФ распространяются на исключительные экономические зоны,

границы которых определены в соответствии с [11] (рис. 2 и 3). Режимы мореплавания в этих водах являются по своей природе разрешительными, так как предполагают предоставление прибрежными государствами согласия на плавание судов в присутствии льдов при условии доказательства соответствия судов указанным национальным правилам, причем бремя доказательства лежит на судовладельце или операторе. Другие приарктические государства – США, Норвегия и Дания (Гренландия) также предъявляют ряд требований к судам, плавающим в пределах их территориального моря.

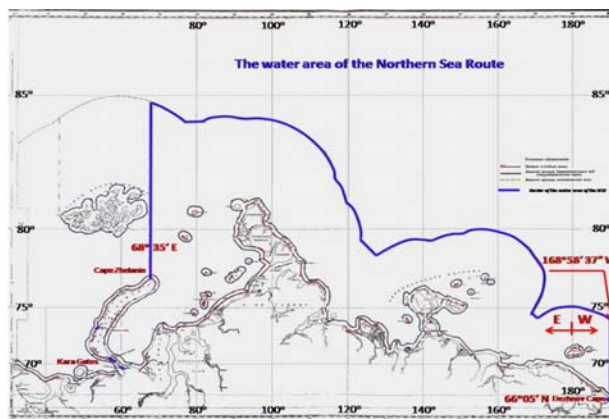


Рис.2 Границы применения российских Правил плавания в акватории СМП

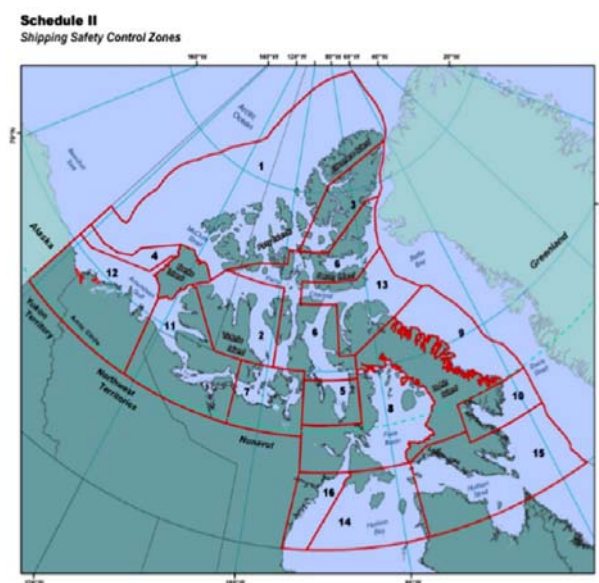


Рис.3 Границы применения Канадских Правил предотвращения загрязнения Арктики с судов (CASPPR)

Таким образом, судовладельцы, рассматривающие возможность плавания в арктических водах, и государства флага были заинтересованы в упрощении и унификации требований различных режимов. Однако, забегаая вперед, отметим, что приполярным государствам удалось отстоять свои права устанавливать особые режимы плавания в соответствии с вышеупомянутой статьей 234 конвенции [11].

В 2010 г. в ИМО на Подкомитете DE-53 была создана Корреспондентская группа по разработке ПК под руководством госпожи Turid Stemre (Норвегия). Завершение работы группы было первоначально запланировано в 2012 г., однако эта дата вызывала сомнения с самого начала, что и подтвердилось впоследствии. Перед началом работы группы обсуждались два подхода к созданию ПК:

- доработать существующее рекомендательное руководство [6] и придать ему обязательный характер, т.е. принцип детерминистического подхода;
- разработать ПК «с чистого листа» на основе оценки риска и целевых стандартов.

Первый подход подразумевал использование существующих требований Морских Администраций (МА) и классификационных обществ, т.е. сначала формулируется требование, а затем проводится проверка его адекватности, с привлечением при необходимости оценки риска и экспертных оценок.

Второй подход подразумевает использование методов формализованной оценки безопасности (ФОВ): идентификацию опасностей и оценку их последствий, оценки риска по различным опасностям и применение целевых стандартов для формулирования требований. Победила вторая точка зрения, в результате чего процесс написания кодекса затянулся.

В начале работы над проектом ПК КБМ сформулировал следующие основные положения:

- основной целью разработки ПК является выработка общих правил и требований по обеспечению безопасной эксплуатации судов и предотвращению загрязнения в покрытых льдом полярных водах;
- ПК должен регулировать вопросы проектирования, конструкции, оборудования и эксплуатации судов полярного плавания, включая подготовку экипажей для плавания в ледовых условиях и при низких температурах воздуха.

В начале работы над ПК было решено, что основными принципами его разработки должны стать широкое применение методов ФОВ и т.н. методов целевых стандартов. Применение указанных методов предполагает, среди прочего, сведение к минимуму требований предписывающего характера и предоставление проектировщикам, строителям, судовладельцам, операторам и экипажам судов большей гибкости в принятии решений в сферах их ответственности при условии достижения ими поставленных в ПК целей и удовлетворения соответствующих функциональных требований. Подходы ФОВ позволяют предполагать, среди прочего, что плавание в полярных водах может быть разрешено также судам, не имеющим традиционных ледовых подкреплений и/или построенных из

материалов, не предназначенных для работы при низких температурах воздуха, при условии, что им будут назначены соответствующие эксплуатационные ограничения, подлежащие неукоснительному выполнению. Для этой цели каждое из судов, планируемое для плавания в полярных водах, должно пройти оценку соответствующих видов риска, присущих данному отдельному судну.

Согласно методам целевых стандартов, помимо предписывающих требований к какому-либо объекту, должны быть сформулированы функциональные требования и цели, для достижения которых предназначены предписывающие требования. Каждая из глав части I ПК включает общие цели главы, функциональные требования, необходимые для достижения указанных целей, и правила. Судно рассматривается как отвечающее функциональному требованию при выполнении любого из нижеследующих условий:

- конструкции и устройства судна отвечают всем правилам, связанным с этим функциональным требованием; либо

- конструкция судна или его частей рассмотрены и одобрены в соответствии с Руководствами ИМО по одобрению альтернативных и эквивалентных конструкций [15 - 17].

В ходе работ над ПК были сформулированы следующие дополнительные принципы:

- ПК должен быть разработан как самостоятельный документ, дополняющий требования [3] и [4], и на первом этапе распространяться на суда, являющиеся предметом этих конвенций, после чего, в ходе второго этапа, его действие будет распространено на другие суда;

- судам, являющимся предметом ПК, должно выдаваться Свидетельство о плавании в полярных водах;

- структурно ПК должен состоять из двух частей, сфера действия которых повторяет область распространения Международных конвенций (МК) по охране человеческой жизни на море (СОЛАС-74) и по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78) в широком смысле (т.е., безопасность и предотвращение загрязнения); приниматься часть I должна КБМ, часть II – КЗМС;

- где необходимо, ПК будет содержать ссылки на иные инструменты ИМО – в частности, на [5]. Иными инструментами являются, среди прочего, Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими [12] и Международная конвенция о контроле за вредными противообрастающими системами на судах [13].

КБМ на своей 94 сессии в ноябре 2014 г. окончательно принял текст части I ПК [1] и поправки к МК СОЛАС-74 [2], таким образом работу над частью I ПК можно считать закон-

ченной. В настоящее время уже можно провести анализ содержания этой части ПК и попытаться спрогнозировать некоторые последствия его принятия, чему посвящен разд. 2 настоящей статьи.

Дополнительные экологические требования для судов, совершающих полярные рейсы, собраны в части II ПК, которая в настоящее время еще не принята окончательно, а только одобрена. Окончательное принятие ее планируется на ближайшей сессии КЗМС-69. Текст части II ПК претерпел существенные изменения по сравнению с редакцией, предложенной на рассмотрение корреспондентской группой. Кроме прочего, из текста части II исключены функциональные требования, т.е. от применения методов целевых стандартов отошли, подчеркнув таким образом необходимость неукоснительного соблюдения природоохранных норм.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПК И ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЕГО ПРИНЯТИЯ

Наиболее существенным последствием принятия ПК, на наш взгляд, является сам факт необходимости учета судовладельцем этого обязательного документа и оформления документов о соответствии ему судна. Сейчас, до вступления ПК в силу, в полярных водах судно может совершать плавание свободно, и ограничения касаются только отдельных районов, охватываемых национальными нормами некоторых прибрежных государств в соответствии со статьей 234 Конвенции ООН по морскому праву [11], например, уже упомянутыми [9] и [10]. За пределами районов действия этих национальных правил в полярных водах сейчас (до вступления ПК в силу 01.01.2017 г.) никаких обязательных ограничений нет. Судовладелец, исходя из коммерческой выгоды, может запланировать рейс в полярных водах, не оценивая риски, связанные с подобными операциями на малопригодном для этого судне с экипажем, не имеющим опыта плавания в полярных водах. Печальным примером такого подхода является гибель т/х «Explorer». При этом МА государства флага, так же, как и портовые власти, не имеют в настоящее время формального права воспрепятствовать совершению такого рейса. Таким образом, после вступления в силу ПК судовладельцу необходимо будет проводить оценку возможности судна успешно совершать рейс в полярных водах и получать необходимые документы от МА государства флага или уполномоченной на то признанной организации. Для возможности судовладельцам своевременно подготовиться к дате вступления ПК в силу, ниже приводится краткая информация о требованиях ПК, на которые следует обратить внимание в первую очередь.

2.1 Применение Полярного кодекса

Обязательным документом ПК делает новая глава XIV МК СОЛАС-74 [2], в которой содержится ссылка на ПК и регламентируется его применение. Данная глава будет применима к судам, сертифицированным согласно требованиям главы I МК СОЛАС-74. Таким образом, ПК не будет применим к судам, не имеющим конвенционных документов и совершающим исключительно внутренние рейсы, а также к военным судам и судам, использующимся для государственных некоммерческих целей.

С принятием и вступлением в силу ПК обязательным условием совершения плавания в полярных водах становится наличие на судне специального судового эксплуатационного документа - Руководства для плавания в полярных водах (PWOM), наличие которого является обязательным для выдачи Свидетельства о плавании в полярных водах. Целью этого документа является предоставление судовладельцу, оператору, капитану и экипажу сведений об эксплуатационных возможностях и ограничениях судна во льдах и оказанию содействия в процессе принятия ими решений. Всем судовладельцам, планирующим совершать рейсы в полярных водах, надлежит разработать такой документ до момента вступления ПК в силу и руководствоваться им в дальнейшем.

2.2 Срок вступления ПК в силу

Согласно новой главе XIV МК СОЛАС-74 [2] новые суда, киль которых заложен после 01.01.2017 г., должны будут соответствовать требованиям ПК к дате окончания постройки. Существующие суда должны будут соответствовать требованиям ПК к первому очередному или промежуточному освидетельствованию, наступающему после 01.01.2018 г.

подавляющее большинство требований ПК применимо как к новым судам, так и к существующим. Исключения сделаны для требований, выпол-

нение которых на существующих судах требует значительных конструктивных изменений, и это специально оговаривается в ПК.

2.3 Географические границы применения ПК

В тексте новой главы XIV МК СОЛАС-74 [2] приводится описание географических границ применимости ПК с указанием географических координат. При этом для удобства в скобках сохранены географические названия. Для наглядности в ПК приводится рисунок с указанием границ применения ПК. Кратко можно так описать область применения ПК в Арктике: пространство к востоку от мыса Канин Нос до Берингова пролива и в Беринговом море к северу от 60° с.ш. Антарктика – все, что южнее 60° параллели. Для сведения в ПК даются рисунки с указанием на карте границ его применения (рис.4). Если сравнить область применения ПК с границами применения Правил плавания в акватории СМП (рис.2), то можно сказать, что границы применения ПК несколько шире – добавляется северная часть Берингова и Баренцева морей.

2.4 Статус существующих национальных требований

В новой главе XIV МК СОЛАС сохранено положение о том, что ничто в этой главе и в ПК не должно ущемлять права и обязанности стран, имеющиеся у них в соответствии с международным правом. Следовательно, судовладельцам следует помнить, что вступление в силу ПК не отменяет действия национальных правил [9, 10], так же, как и их выполнение не освобождает от выполнения требований ПК в этих районах для судов, на которые действия ПК распространяются. Правила плавания в акватории СМП и разрешительный характер прохода по нему сохраняется, но выполнение судном этих правил не освобождает от выполнения требований ПК.

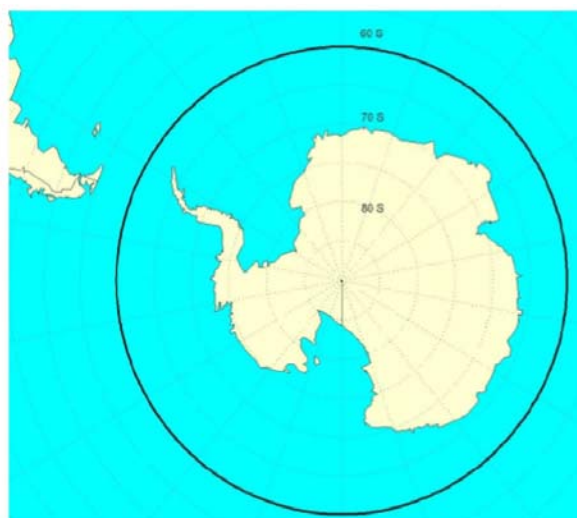


Рис.4 Географические границы применения ПК

2.5 Статус частей ПК

ПК состоит из введения и частей I и II. Введение содержит положения обязательного характера, применимые к частям I и II. Часть I подразделена на часть I-A, содержащую положения обязательного характера о мерах безопасности, и часть I-B, предусматривающую меры безопасности в форме рекомендаций. Часть II содержит часть II-A, содержащую положения обязательного характера о предотвращении загрязнения, и часть II-B, предусматривающую меры по предотвращению загрязнения в форме рекомендаций. Часть I-A носит обязательный характер согласно соответствующей главе МК СОЛАС-74, а часть II-A – обязательный характер согласно соответствующим приложениям к МК МАРПОЛ 73/78 (I, II, IV и V).

Особенность части I-A, в отличие от части II-A – использование методологии целевых стандартов, т.е. каждая глава содержит цели и функциональные требования, для достижения которых приводятся предписывающие требования.

Кроме указанных частей в резолюции MSC.385(94) [1] присутствуют два приложения к ПК. Приложение 1 содержит форму Свидетельства о плавании в полярных водах, которое должно выдаваться на судно МА государства флага. В Приложении 2 приводится образец содержания Руководства для плавания в полярных водах (PWOM).

2.6 Свидетельство о плавании в полярных водах

Каждое судно, к которому применим ПК, выполняющее рейс, проходящий полностью или частично в полярных водах, должно иметь на борту действующее Свидетельство о плавании в полярных водах, которое будет выдаваться МА государства флага или признанной организацией (классификационным обществом) по поручению МА.

Предусмотрена возможность выдачи свидетельства без проведения физического освидетельствования для облегчения бюрократического бремени судовладельцам. Такая возможность предусмотрена только для судов категории С при условии документального подтверждения соответствия судна всем требованиям ПК без необходимости дооборудования и при наличии на борту необходимого оборудования. При этом свидетельство без физического освидетельствования судна может быть выдано до ближайшего ежегодного или очередного освидетельствования, которое проводится в соответствии с МК СОЛАС-74. Форма свидетельства должна отвечать образцу, приведенному в Приложении 1 к ПК.

2.7 Руководство для плавания в полярных водах (PWOM)

Для всех судов, эксплуатирующихся в полярных водах, будет требоваться специальный судовой эксплуатационный документ - Руководство для плавания в полярных водах (Polar Water Operation

Manual – PWOM), который является обязательным для выдачи Свидетельства о плавании в полярных водах. В ПК нет требования об обязательном одобрении PWOM классификационным обществом или МА.

Целью данного руководства является предоставление судовладельцу, оператору, капитану и экипажу сведений в достаточном объеме об эксплуатационных возможностях и ограничениях судна для оказания содействия в процессе принятия ими решений.

Руководство должно включать характеристики эксплуатационных возможностей и ограничений конкретного судна, включать или содержать ссылку на конкретные процедуры, которым надлежит следовать в обычных условиях с целью предотвращения наступления условий, превышающих эксплуатационные возможности судна.

Руководство может быть разработано судовладельцем или какой-либо проектной организацией по его заказу. В разделе 3 части I-B ПК приводятся рекомендательные указания по содержанию PWOM. Дополнительные сведения можно также почерпнуть в Приложении 2 к ПК, где приводится пример содержания руководства. В указанном дополнении затрагиваются только аспекты безопасности мореплавания. Вопросы охраны окружающей среды, по всей видимости, будут включены в дополнение на ближайшей сессии Комитета по защите морской среды.

2.8 Деление судов ледового плавания на категории

Во вступлении к ПК дается деление всех судов ледового плавания на три категории – А, В и С, в зависимости от допустимых ледовых условий. К различным категориям судов применимы различные требования ПК.

Судно категории А – судно, предназначенное для эксплуатации в полярных водах как минимум в среднем однолетнем льду, который может содержать включения многолетнего льда.

Судно категории В – судно, не включенное в категорию А, предназначенное для эксплуатации по меньшей мере в тонком однолетнем льду, который может содержать включения многолетнего льда.

Судно категории С – судно, предназначенное для эксплуатации на открытой воде (концентрация льда 1/10 и менее) или в ледовых условиях, менее жестких, нежели включенные в категории А и В.

Нельзя однозначно отнести судно того или иного ледового класса к какой-либо категории, так как судно должно отвечать всем требованиям ПК, применимым к этой категории, а не только к прочности корпуса (для различных категорий применяются различные требования к остойчивости, конструкции корпуса, по параметрам двойных бортов и дна и т.п.).

В первом приближении, к категории А могут быть отнесены суда с классом **Arc6 – Arc9** и ледоколы, к категории В – суда с классом **Arc4 – Arc5**, к категории С все остальные суда, в том числе не имеющие ледового класса.

2.9 Технические требований различных глав части I ПК, на которые следует обратить внимание судовладельцам

Ниже приводится краткий обзор требований с целью обратить внимание судовладельцев на те из них, которые могут вызвать трудности при получении Свидетельства о плавании в полярных водах. Первейшим из этих требований является разработка Руководства для плавания в полярных водах (PWOM), чему посвящена глава 2 и Дополнительное руководство к главе 2 рекомендательной части I-В ПК.

В главе 3 ПК говорится, что прочность корпуса судов категорий А и В должна отвечать требованиям к судам с полярным классом МАКО PC1–PC7 или эквивалентным ему. Каких-либо указаний по эквивалентности классов не дается, т.е. это остается на усмотрение МА. В рекомендательной части I-В содержатся Дополнительные указания по Методологии определения равноценности ледовых классов. Методология построена в соответствии с Руководством по одобрению альтернативных и равноценных решений, предусмотренных различными инструментами ИМО (циркуляр MSC.1/Circ.1455), однако допускает и принятие упрощенного подхода при рассмотрении запроса судовладельца о равноценности. Рассмотрение такого запроса должно быть выполнено МА государства флага либо признанной организацией, действующей от ее имени в соответствии с положениями Кодекса о признанных организациях. ПК допускает, что некоторыми классификационными обществами, а также некоторыми МА могут быть разработаны несложные методы установления равноценности требованиям МАКО к конструкции судов полярных классов. Было бы крайне полезно выпустить документ с указаниями по эквивалентности классов, как это сделано, например, в рамках Хельсинской комиссии (ХЕЛКОМ) [14] для финско-шведских ледовых классов, классов Регистра до категории **Arc5** включительно, классов МАКО PC7 – PC6 и ледовых классов других классификационных обществ.

В главе 4 ПК приводятся требования к остойчивости судов с учетом обледенения в неповрежденном состоянии. Требования в основном соответствуют аналогичным требованиям, изложенным в 2.4 части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов РС [18]. Различия состоят в том, что требования Регистра применимы к судам, совершающим плавание в Беринговом море только в зимнее время, в то время как требования ПК применимы к северной части Берингова моря вне зависимости от сезона. Кроме того, в расчетах

остойчивости правила Регистра требуют учитывать несколько большую, чем требует ПК, массу льда на квадратный метр парусности судна. Таким образом можно констатировать, что при выполнении требований правил Регистра требования ПК также будут выполняться.

Требования к аварийной остойчивости в ПК содержатся только к вновь строящимся судам категорий А и В. Требования к аварийной остойчивости совпадают с требованиями правил Регистра для классов **Arc4 – Arc9**, изложенными в 3.4.10 части V «Остойчивость» правил РС [18].

В главе 5 ПК приводятся требования по обеспечению целостности и работоспособности люковых крышек в условиях обледенения и снабжения средствами для удаления льда с открытых частей. Требования применимы ко всем судам, независимо от даты постройки. В правилах Регистра в настоящее время имеется дополнительный к основному символу класса знак **ANTI-ICE**; требования по оборудованию судов с таким знаком в символе класса изложены в 4.2.3 части XVII «Дополнительные знаки символа класса и словесные характеристики, определяющие конструктивные или эксплуатационные особенности судна» правил РС [18]. Требования в настоящее время не являются обязательными, но их можно рассматривать как руководство для выполнения требований этой главы ПК.

В главе 6 ПК приводятся требования к механическим установкам для обеспечения способности их обеспечивать требуемую работоспособность, необходимую для безопасной эксплуатации судна в условиях низких температур; система охлаждения должна быть спроектирована таким образом, чтобы предотвращать засасывание льда и шуги. Кроме этого, для судов с ледовыми подкреплениями категорий А и В требуется обеспечить соответствие прочности деталей валопровода, лопастей винта, рулевого устройства требованиям к судам с полярным классом МАКО PC1–PC7 или эквивалентным ему. Каких-либо указаний по эквивалентности классов не дается, т.е. это остается на усмотрение МА государства флага. Применительно к судам с классом Регистра требования можно свести к тому, что должны выполняться требования Регистра для судов ледового плавания. Требования к минимальной мощности главного двигателя в главе 6 отсутствуют.

В главе 7 ПК приводятся требования к обеспечению работы противопожарных систем в условиях отрицательных температур. Трубопроводы пожарной системы в необогреваемых помещениях должны иметь возможность осушения, пожарные насосы, снаряжение пожарного и пожарные рукава должны располагаться в обогреваемых помещениях. Огнетушители должны быть работоспособны при отрицательных температурах или храниться в

обогреваемых помещениях, что должно быть учтено в пожарных планах.

В главе 8 ПК приводятся требования для обеспечения безопасных покидания судна, эвакуации и выживания. Все спасательные средства и связанное с ними оборудование должны быть работоспособными при рабочей полярной температуре и в возможных неблагоприятных погодных условиях в течение максимального ожидаемого времени прибытия сил спасания (не должно приниматься меньшим пяти суток). На пассажирских судах должны быть предусмотрены гидротермокостюмы надлежащего размера для каждого человека на борту. В местах посадки в шлюпки должны быть предусмотрены средства, обеспечивающие отсутствие обледенения. Должны использоваться спасательные шлюпки только закрытого или полужакрытого типов. На борту должен быть в наличии групповой комплект выживания, если обычными судовыми спасательными средствами не обеспечивается равноценный уровень выживания. Контейнеры группового комплекта выживания должны обладать плавучестью и быть сконструированы так, чтобы их можно было без затруднений перемещать по льду.

В главе 9 ПК приводятся требования к навигационным средствам. Наряду с дополнительными требованиями по обеспечению надежности навигационного оборудования в условиях обледенения и низких температур в ней содержатся требования к идентификации морского льда; кроме того:

- суда должны быть оборудованы двумя дистанционно управляемыми с ходового мостика вращающимися прожекторами с узкой фокусировкой луча для подачи его по дуге протяженностью 360°;
- суда, предназначенные для работы в караване, должны быть оборудованы управляемым вручную красным сигнальным проблесковым огнем, видимым с кормы, указывающим на остановку судна;
- суда должны располагать двумя немагнитными средствами определения и указания их курса, независимыми друг от друга;
- суда, совершающие плавание за пределы 80° с.ш., должны быть оборудованы по меньшей мере одним компасом GNSS или равноценным устройством;
- должны быть предусмотрены средства предотвращения скопления льда на антеннах, требуемых для навигации, связи и безопасной эксплуатации;
- вновь строящиеся суда категорий А и В должны иметь закрытый мостик.

В главе 10 ПК приводятся требования к средствам связи. Судовым оборудованием связи должна обеспечиваться двусторонняя голосовая связь и связь для приема и получения данных во

всех пунктах вдоль запланированного маршрута плавания, учитывающая ограничения береговых станций. Должны быть предусмотрены пригодные средства связи в случае, когда ожидаются операции эскортирования и работы в составе конвоя, и должно быть предусмотрено оборудование связи, позволяющее обеспечить получение дистанционной телевизионной медицинской помощи в полярных районах.

В главе 11 ПК приводятся требования по планированию рейса в полярных водах и наличию необходимой для этого информации на борту судна до начала рейса. Согласно ПК капитан до начала плавания должен изучить путь следования через полярные воды с учетом потенциальных видов опасностей, связанных с предстоящим рейсом. Капитан и экипаж должны располагать в достаточном объеме информацией, позволяющей осуществлять эксплуатацию судна с должным уровнем безопасности людей на борту и защиты окружающей среды.

В главе 12 ПК приводятся требования по подготовке экипажей судов ледового плавания, по специальной подготовке для капитана и офицеров в зависимости от типа судна и допустимой ледовой обстановки. Согласно ПК, компания должна обеспечить, чтобы капитаны, старшие помощники и лица из числа комсостава, несущие навигационную вахту на судах, эксплуатирующихся в полярных водах, прошли подготовку с целью получения соответствующих навыков, отвечающих занимаемой должности. Предусмотрено два уровня дополнительной подготовки комсостава для плавания в полярных водах: базовый и усовершенствованный. При этом требования по подготовке комсостава различаются в зависимости от допускаемой для судна ледовой обстановки и назначения судна: для пассажирских судов и танкеров (включая нефтеналивные, химовозы и газовозы) требования более жесткие, как показано в таблице.

Ледовая обстановка*	Вид подготовки комсостава для		
	танкеров	пассажирских судов	иных судов
Лед отсутствует	Неприменимо		
Отдельные льдины	Базовая подготовка для капитанов, старпомов и комсостава, несущего ходовую вахту		Неприменимо
Иные воды	Усовершенствованная подготовка для капитанов и старпомов. Базовая подготовка для комсостава, несущего ходовую вахту		

* Имеются в виду допустимые ледовые условия для судна согласно PWOM и ледовые ограничения, указанные в Свидетельстве для плавания в полярных водах.

2.10 Экологические требования

Экологические требования собраны в части II ПК, которая в настоящее время еще не принята

окончательно, а только одобрена. Рабочая группа по разработке ПК закончила работу над этой частью ПК, представив его текст на пленарном заседании КЗМС–67 в ноябре 2014 г.. Кроме того, рабочая группа представила поправки к Приложениям I (Предотвращение загрязнения нефтью), II (Предотвращение загрязнения вредными жидкими веществами), IV (Предотвращение загрязнения сточными водами с судов) и V (Предотвращение загрязнения мусором) МК МАРПОЛ 74/78, делающие обязательной часть II-A ПК. По результатам рассмотрения на КЗМС–67 вторая часть ПК была «одобрена в принципе». Ожидалось, что ПК будет принят окончательно на КЗМС–68 (11–15 мая 2015 г.), но этого не произошло. Окончательное рассмотрение отложено на КЗМС–69, который состоится в 2016 г.

Наиболее существенным для судовладельцев дополнительным экологическим ограничением в ПК является полный запрет сброса нефти и нефтесодержащих вод со всех типов судов в полярных водах, что требует их обязательной утилизации на судне или сдачу на берег в приемные сооружения всех нефтесодержащих вод.

2.11 О дальнейшем развитии ПК

По мере приобретения опыта по применению ПК судовладельцами, в тексте ПК неизбежно будут обнаружены «белые пятна», которые потребуют устранения. Прежде всего это касается требований в рекомендательной части В ПК, в которой должны быть рекомендательные руководства для глав обязательной части А. Кроме того, насколько нам известно, в планах ИМО предусмотрено продолжение работы над ПК для распространения его требований на суда, не подпадающие под действия МК СОЛАС-74.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

В результате принятия международных документов не редко возникновение противоречий интересов отдельных стран, появление «проигравших» и «выигравших». Встает вопрос: каким образом можно отстаивать интересы отдельной национальной отрасли при разработке международных документов такого уровня, как ПК? В настоящее время для этого известно два пути: первый – принятие специальных законодательных актов, действующих на территории отдельного государства, поддерживающих отрасль и ограждающих ее от международной конкуренции. Однако в такой глобально-интернациональной области, как международное судоходство, это практически невозможно в силу действия международных конвенций, требования которых после их подписания являются

первичными по отношению к национальным нормам. Так как несоблюдение международных конвенций каким-либо государством практически приводит к исключению судов под его флагом из международного судоходства, принятие национальных норм в судоходстве как минимум малоэффективно, а чаще вредно влияет на отрасль.

Второй путь – это активное участие представителей национальной отрасли в разработке международных норм и требований, т.е. отстаивание интересов отрасли на этапе их разработки. Не менее важно и вовремя принять меры для подготовки субъектов отрасли к вступлению нового международного правового акта или технического регламента. Если судостроители, производители оборудования и судовладельцы будут вовремя информированы о необходимости перестройки своей деятельности, они получают определенные преимущества, чтобы проявить инициативу и вложить финансовые средства в развитие. Этой задаче автор и следовал, излагая информацию о ПК, в работе над которым он принимал участие.

Полезные данные в настоящее время можно почерпнуть также с сайта Администрации СМП, где размещена информация о разрешениях на совершение плавания в его акватории. В 2014 г. разрешение на плавание в акватории СМП было выдано 631 судну, из которых 81 % под российским флагом, в 2013 г. аналогичные числа составили 635 и 80 соответственно. Можно с уверенностью сказать, что в ближайшее время для большинства этих судов потребуются предпринять определенные действия для того, чтобы соответствовать новым требованиям ИМО к судам, совершающим плавание в полярных водах. Дата вступления в силу ПК уже определена, и 1 января 2017 г. не за горами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах. Резолюция ИМО MSC.385(94), 2014.
2. Поправки к Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 г. Резолюция ИМО MSC.386 (94), 2014.
3. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС-74) с поправками.
4. Международная конвенция о предотвращении загрязнения с судов 1973 г., измененная протоколом 1978 г. к ней с поправками (МАРПОЛ 73/78).
5. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 г. с поправками (ПДМНВ-78).

6. Руководство для судов, эксплуатирующихся в покрытых льдами арктических водах. Циркуляр ИМО MSC/Circ.1056 и MEPC/Circ.399 от 23 декабря 2002 г.

7. Guidelines for ships operating in polar waters. Резолюция ИМО A.1024(26) от 2 декабря 2009 г.

8. Canadian Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations - CASPPR Canada Shipping Act, 2001.

9. Arctic Waters Pollution Prevention Act (AWPPA), 1985.

10. Правила плавания в акватории Северного морского пути. Утверждены приказом Министерства Транспорта Российской Федерации от 17.01.2013 № 7.

11. Конвенция ООН по морскому праву 1982 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/closindx.htm.

12. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими (BWM), 2004 г.

13. Международная конвенция о контроле за вредными противообрастающими системами на судах (AFS), 2001 г.

14. HELCOM Recommendation 25/7.

15. Guidelines for the approval of alternatives and equivalents as provided for in various IMO instruments. Циркуляр ИМО MSC.1/Circ.1455.

16. Guidelines on alternative design and arrangements for SOLAS chapters II-1 and III. Циркуляр ИМО MSC.1/Circ.1212.

17. Guidelines on alternative design and arrangements for fire safety. Циркуляр ИМО MSC/Circ.1002.

18. Правила классификации и постройки морских судов. – СПб.: Российский Морской Регистр судоходства, 2015.

Н.Н. Зиненко

канд. техн. наук, доц.,
ГМУ им. адмирала Ф.Ф. Ушакова,
ПАО «Совкомфлот»



ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК ОБРАБОТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД НА СУДАХ

1. НОРМАТИВНАЯ БАЗА

В настоящее время актуальность вопросов обеспечения экологической безопасности в судоходстве чрезвычайно высока. Это связано с растущим во всем мире пониманием важности сохранения окружающей среды и подтверждается постоянным ужесточением как национальных, так и международных нормативов выбросов вредных (загрязняющих) веществ. В вопросах требований к качеству сбрасываемых с судов балластных вод, установки на судах систем их обработки в судоходстве действует принятая в 2004 г. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими (далее Конвенция) [1] и опубликованные в US Federal Register (77 Fed. Reg. 17254) 23 марта 2012 г. и вступившие в силу с 21 июня 2012 г. правила Береговой охраны США

"Standards for Living Organisms in Ships' Ballast Water Discharged in U.S. Waters"(33 CFR Part 151 and 46 CFR Part162, March 23, 2012) [2].

Постановлением Правительства от 28 марта 2012 г. № 256 Российская Федерация присоединилась к Конвенции. Конвенция нацелена на внедрение в практику более безопасных и эффективных методов управления водяным балластом, которые позволяют предотвратить и свести к минимуму опасность для окружающей среды и здоровья человека, связанную с переносом вредных водных и патогенных организмов, посредством контроля водяного балласта и осадков судов и управления ими, а также избежать нежелательного побочного воздействия этого контроля и поощрять разработки в области науки и технологии по тематике, связанной с обращением с балластными водами. Конвенция распространяется на все суда, которые имеют право плавания под флагом Стороны конвенции, за исключением судов, которые не

спроектированы или не построены для перевозки балластных вод или которые эксплуатируются в водах под юрисдикцией этой Стороны, если не решено иное. Конвенция вступит в силу через 12 месяцев после ее ратификации, как минимум, 30 государствами, суммарный морской флот которых составит минимум 35 % дедвейта мирового морского флота. По состоянию на 1 марта 2015 г. 51 система обработки балластных вод различных производителей имеет Типовое одобрение соответствия программе G8, а 42 государства ратифицировали Конвенцию, что составляет 32,5 % дедвейта мирового флота, поэтому в настоящее время Конвенция еще не вступила в силу. В соответствии со вступившими в силу правилами Береговой охраны США суда, заходящие в эксклюзивную экономическую зону США, должны обладать и управлять системой обработки балластных вод, удовлетворяющей требованиям правила D-2 Конвенции. Требования вышеуказанных документов применимы как к новым, так и к уже эксплуатирующимся судам. Временные рамки соответствия судов требованиям Конвенции и правилам Береговой охраны США указаны в табл. 1 и 2.

Таблица 1
Установленный Конвенцией график соответствия судов ее правилам
(D1 – стандарт замены балласта, D2 – стандарт обработки (качества) балласта)

Дата постройки, г	Балласт, м³	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
До 2009*	1500 - 5000	D1 или D2					D2*		
	<1500 >5000	D1 или D2							D2*
2009	<5000	D2							
2009 – 2012	>5000	D1 или D2							D2
2012	>5000	–			D2				
* Первое очередное освидетельствование судна для возобновления International Oil Pollution Certificate (IOPP) после вступления в силу Конвенции.									

Таблица 2
Установленный Береговой охраной США график соответствия судов ее правилам

Суда	Объем балласта, м ³	Дата постройки	Дата соответствия
Новые суда	Все суда	01.12.2013 г. и позже	По выходу из завода
Суда в эксплуатации	Менее 1500	До 01.12.2013 г.	Первое плановое докование судна после 01.01.2016 г.
	1500 – 5000	До 01.12.2013 г.	Первое плановое докование судна после 01.01.2014 г.
	Более 5000	До 01.12.2013 г.	Первое плановое докование судна после 01.01.2016 г.

В случае вступления Конвенции в силу после 31.12.2016 г. все суда должны соответствовать стандарту D-2 по окончании первого очередного освидетельствования.

2. СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД

Суда ПАО «Совкомфлот» (далее – компания), принятые в эксплуатацию после 2013 г., в соответствии с требованием Конвенции оборудованы системами обработки балластных вод (далее – система). Опыта установки таких систем на судах в эксплуатации пока нет, но компания активно взаимодействует с производителями систем в вопросах изучения их технических характеристик и возможности установки систем во время проведения плановых ремонтов судов. Данная статья не ставит своей целью дать полный анализ всех существующих на мировом рынке систем с различными технологиями обработки балластных вод, удовлетворяющих требованиям Конвенции, а только рассматривает системы, установленные на судах компании, и опыт их эксплуатации. Следует отметить, что в течение непродолжительного периода времени в компании накоплен определенный опыт эксплуатации этих систем.

На рис.1 представлены технологии обработки балластных вод, используемые в системах.

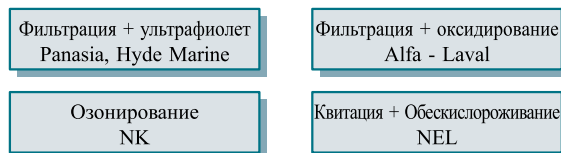


Рис.1

Ниже будут рассмотрены преимущества и недостатки этих технологий.

Фильтрация и ультрафиолетовое облучение

Это одна из самых распространенных технологий обработки балластных вод.

Фильтры (дискового или щелевого типа) или гидроциклоны используются в большинстве систем как первая ступень обработки балластных вод.

Преимущества:

- снижают количество и плотность живых организмов;
- снижают количество взвешенных частей и осадка.

Недостатки:

- создают дополнительное падение давления в балластной системе;

- требуют расчета входного давления для возможной установки дополнительного подкачивающего насоса;
- для эффективной работы необходим полный поток балластных вод;
- относительно большие размеры корпуса;
- низкая эффективность очистки взвешенных частиц и организмов малых размеров (менее 2 – 10 мм);
- требование к чистоте балластной воды (проблемная работа фильтров в реках);
- увеличение времени выгрузки судна из-за загрязненного фильтра;
- сложность установки при использовании погружных насосов;
- необходимость установки дополнительных насосов для обратной промывки фильтров некоторых моделей;
- необходимость периодической (каждые 4 – 7 лет) замены фильтрующих элементов средней стоимостью около 6000 долл. США.

Ультрафиолетовое облучение повреждает и деактивирует ДНК организмов, тем самым, делая невозможным их дальнейшее репродуцирование.

Преимущества:

- отсутствие химических препаратов в процессе обработки балластных вод, за исключением чистящего раствора для некоторых систем;
- является одной из распространенных технологий обработки;
- обрабатывает балластную воду различной солености.

Недостатки:

- необходимость установки фильтра как первой ступени обработки;
- высокое энергопотребление;
- необходимость обработки как при приеме, так и выдаче балласта, что ведет к высокому энергопотреблению по сравнению с другими системами;
- большие габаритные размеры;
- отказы при работе в мутной воде.

На судах компании установлены следующие системы, использующие фильтрацию и ультрафиолетовое облучение:

GloEn Patrol, производитель Panasia, Ю.Корея (рис. 2) (суда – два балкера, четыре танкера СПГ);

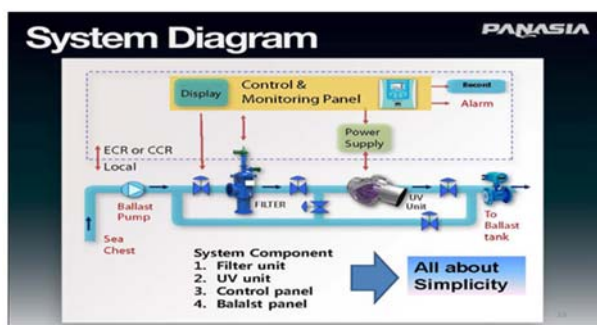


Рис.2 Схема системы обработки балластных вод GloEn Patrol

Hyde Guardian, производитель Hyde Marine, США (суда – два танкера СНГ).

Опыт двухлетней эксплуатации систем двух названных производителей показал их довольно высокую надежность и простоту. Системы гарантированно обеспечивают полную производительность обработки балластных вод при приеме и выдаче балласта, однако имеют один существенный недостаток – это зависимость их производительности от чистоты балластной воды. Несмотря на конструктивную возможность промывки фильтра обратным потоком при превышении установленного перепада давления в 0,5 бар, на нескольких судах во время приема балласта были зарегистрированы случаи перехода системы в режим автоматического перепуска балластной воды помимо фильтра по причине его полного блокирования речным илом в реках Бразилии, Аргентины, Европы. Проблема решалась снижением производительности установки, что, в конечном итоге, не приводило к задержке стоянки судов при грузовых операциях.

Отдельные мелкие эксплуатационные повреждения в виде протечек через различные сальниковые уплотнения устранялись силами экипажа.

Фильтрация и окислирование

Эта технология базируется на фильтрации и окислировании, с использованием технологии ультрафиолетового облучения. Данная технология обеспечивает выработку активной субстанции, уничтожающей живые организмы в балластной воде. В сравнении с описанной выше технологией обработки балласта с помощью фильтра и ультрафиолетового облучения, данная технология, обладая достоинствами и недостатками предыдущей, способна обеспечивать обработку воды разной солености и менее зависит от ее чистоты. Система привлекательна при длительной работе судна в водах с низкой соленостью.

Использующая эту технологию система Pure Ballast, производитель Alfa-Laval, Швеция (рис.3), установлена на судне сейсмической разведки компании.

Из-за специфики работы сейсмического судна балластные операции на нем проводятся крайне редко, отсюда и ограниченное использование установки обработки балластных вод. Но и этот относительно небольшой опыт эксплуатации показал довольно высокую надежность системы, когда судно продолжительное время работало в морях с низкой соленостью воды. Незначительные дефекты, не влияющие на работу установки, устранялись экипажем.



Рис.3 Система Pure Ballast

Озонирование

Система обработки балластных вод озонированием NK-03 Blue Ballast System, производитель Ю. Корея (рис.4), установлена на четырех танкерах компании. Она спроектирована с использованием технологии впрыскивания озона в балластную воду в зависимости от производительности балластного насоса. Основные модули системы:

- питательная система. Сжимаемый компрессором до давления 8 бар воздух направляется в ресивер для последующей его подачи в генератор кислорода. В генераторе кислорода из воздуха удаляется азот, увеличивая таким образом концентрацию кислорода,

являющегося основой для производства озона, и затем направляется в ресивер для его сбора;

- озоновая система – генерирует озон и впрыскивает его в балластную воду. В генераторе озона обогащенный кислородом воздух проходит через высокочастотное электромагнитное поле, где и происходит образование озона. В генераторе контролируется концентрация озона и кислорода. Температура озона поддерживается с помощью водяного холодильника. Неиспользованный озон, перед тем как быть удаленным в атмосферу, превращается обратно в кислород в дестракторе. Озоновый инжектор обеспечивает впрыск озона в водяной поток балласта;

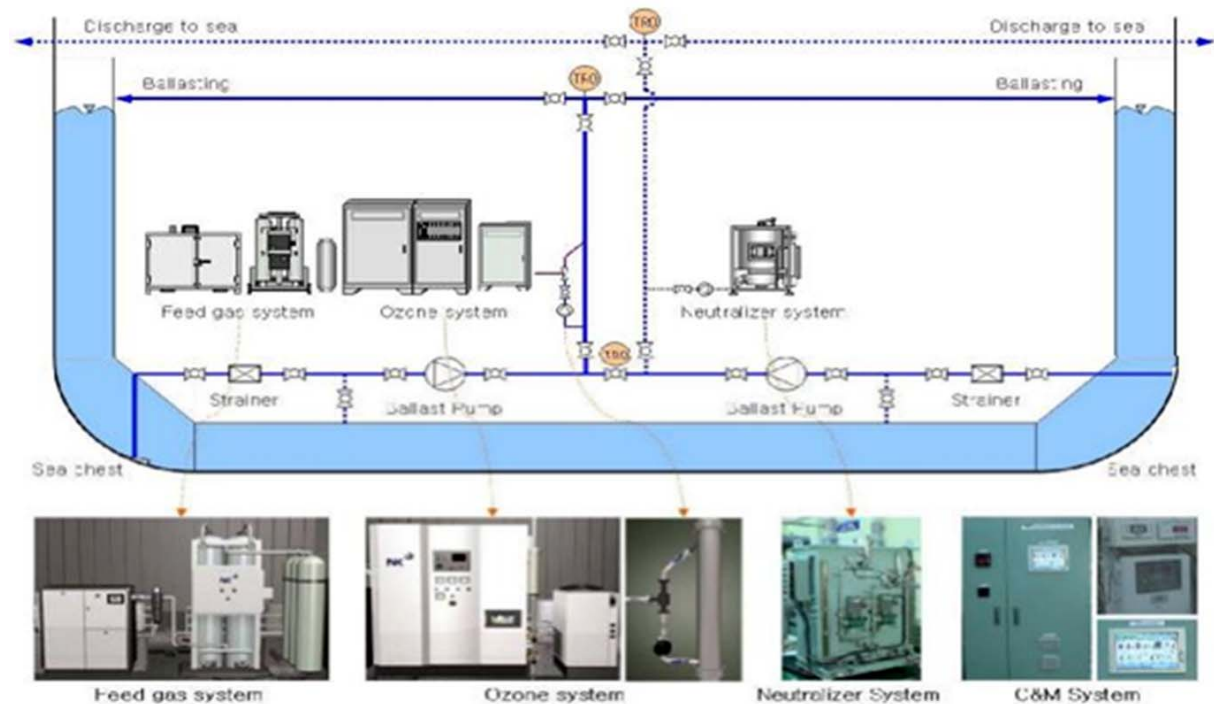


Рис. 4 Система NK-03 обработки балластных вод озонированием

- система нейтрализации - обеспечивает удаление оставшегося в откачиваемом балласте TRO (Total Residual Oxidant). Расчитанная доза для нейтрализации впрыскивается в главный балластный трубопровод дозерным насосом. Эффективность нейтрализации определяется TRO анализатором;

- система мониторинга и контроля – обеспечивает мониторинг и контроль процессов.

Недостатки системы, использующей технологию озонирования:

- активная коррозия стальных поверхностей танков, трубопроводов (озон является активным окислителем);

- низкая надежность TRO анализатора, ответственного за корректную концентрацию озона при приеме и выдаче балласта;

- низкая надежность генератора озона, систем мониторинга и контроля;

- низкая сервисная активность производителя системы.

За период трехлетней эксплуатации данная система показала свою низкую надежность. Только на одном судне система работает на полную производительность, на остальных трех судах – с различными ограничениями. Производитель имеет очень ограниченную сервисную сеть, поэтому гарантийное устранение выходов из строя различных модулей занимает продолжительное время. По вышеуказанным причинам компанией принято решение не устанавливать на строящихся судах и судах в эксплуатации системы обработки балластных вод озонотом.

Кавитация и обескислороживание

Данная технология обработки балластных вод использует инертный газ в комбинации с механическим эффектом инжектора Вентури, которые приводят к удалению 95 % растворенного в балласте кислорода в течение 10 с, вызывающему гибель живых организмов в течение определенного времени, составляющего 48 – 72 ч, что является ограничением для судов, выполняющих балластные операции с короткими промежутками времени.

Достоинства системы, использующей технологию кавитации и обескислороживания:

- хорошее решение для судов с балластными насосами большой производительности;

- не применяются химические реагенты;

- низкое энергопотребление;

- работает во всех типах воды;

- перспектива соответствия более строгим стандартам обработки;

- технология обработки балласта с помощью генератора инертного газа хорошо знакома экипажам танкеров.

Недостатки:

- более высокая операционная стоимость обработки балласта за счет прямого использования топлива;

- сложная установка на судах в эксплуатации;

- время ожидания (Holding time) составляет 48 – 72 ч;

- не убивает микроорганизмы, живущие в среде с низким содержанием кислорода;

- требуется поддержание балластных танков в инертированном состоянии даже при грузовых переходах.

Система кавитации и обескислороживания NEI Treatments Systems, USA (рис. 5) установлена на двух танкерах компании. Обе системы находятся в не рабочем состоянии со времени выхода с завода-строителя. На обоих судах при проведении сдаточных испытаний система была остановлена из-за резкого повышения кислорода в генераторе инертных газов по причине образования трещины в направляющем конусе форсунки. По информации компании NEI, новый конус форсунки изготавливается новым производителем. В данный момент суда ожидают гарантийного ремонта системы.



Рис. 5 Система обработки балласта NEI Treatments Systems, USA

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управления ими 2004 года. – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2005. – 120 с.

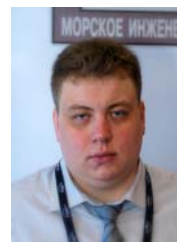
2. Standards for Living Organisms in Ships' Ballast Water Discharged in U.S. Water. - United States Government, Department of Homeland Security: Federal Register vol.77 №57, part V, 2012. – 68 p.

Г.В. Егоров

д-р техн. наук,
Морское Инженерное
Бюро, г. Одесса

**А.Г. Егоров**

Морское Инженерное
Бюро,
г. Одесса



ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ И РИСКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РЕЧНЫХ КРУИЗНЫХ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Странная трагедия с речным пассажирским судном «Булгария» в июле 2011 г. в очередной раз (после крушения кораблей в Азовском и Черном морях в ноябре 2007 г.) привлекла внимание широкой общественности к проблеме аварийности на отечественном водном транспорте. Принципиально важным при исследовании подобных ситуаций является выявление причин их возникновения и принятие системных мер по недопущению их повторения. Именно поэтому изучение причин аварий всегда было важнейшим этапом для совершенствования норм и правил создания любых новых технических объектов [18, 20], в том числе морских [17]. Известный тезис о том, что эксплуатация старых судов сопровождается большим уровнем риска, чем более новых, также нуждается в проверке.

Как показано в [2, 7, 8], для отечественной судостроительной науки принципиально важным является анализ риска эксплуатации судов внутреннего (СВП) и смешанного река-море плавания (ССП), так как в значительной части отечественные судоходные компании и судостроительные заводы ориентированы именно на такой флот.

В настоящей статье под речными круизными пассажирскими судами (РКПС) понимаются суда, эксплуатирующиеся во внутренних водных бассейнах разрядов «Л», «Р», «О», «М» согласно Правилам классификации и постройки судов внутреннего плавания Российского Речного Регистра (РРР) [15].

Данные об авариях и аварийных происшествиях с отечественными РКПС до 1990 г. мало публиковались и не подвергались системному анализу. В 2000 г. в [4] впервые был сделан анализ риска для судов ограниченного района плавания (СОРП) на основании данных за 1993 – 2000 гг., в 2002 г. материал был

дополнен в [6]. В [4, 6 и 9] использовалась формализованная классификация последствий аварий, предложенная в работе [3] на основе «Международного кодекса проведения расследований аварий и инцидентов на море» 1997 г.

В публикациях РРР [13, 14] (2002 г.) и РС [16] (2005 г.) были рассмотрены аварии судов с классами РРР и РС соответственно.

Также в 2008 – 2009 гг. в работах М.Д. Емельянова [10 – 12] был использован близкий к [4] формализованный подход для анализа риска морских судов. В [12] приведен пример анализа риска для судов смешанного река-море плавания пр. 1570 (частота аварий около 28 на 1000 судов в год; в 2001–2003 гг. – около 51).

Интересно отметить, что, несмотря на рост среднего возраста судов, существенного роста аварийности не произошло [16]. В то же время, в [19] по данным DNV был отмечен более высокий уровень аварийности для старых судов. Согласно [18], пик катастроф приходился на суда с возрастом 19–24 года (на основании статистики 1984–1994 гг.), причем тенденция была одинакова для всех типов судов.

В настоящей статье приведен анализ надежности эксплуатации РКПС и происшедших с 1983 по 2011 г. аварий с ними. При этом рассмотрены происшествия, связанные с корпусом, устройствами и механизмами судов, пожарами и взрывами.

Исследование выполнялось в составе научно-исследовательской работы (НИР) по созданию облика перспективных РКПС нового поколения для крупных рек и водохранилищ в рамках ФЦП «Развитие гражданской морской техники» на 2009 – 2016 годы». Полученные в отчете выводы не всегда совпадают с официальными заключениями и носят сугубо исследовательский характер.

В ходе выполнения НИР были сделаны выводы о том, что условия эксплуатации РКПС гораздо более спокойные, чем транспортных судов, и их характеризуют, как правило, следующие факторы:

постоянный и более квалифицированный состав экипажа; меньшие осадки судна, и соответственно, более редкий контакт с грунтом; мало меняющаяся нагрузка судов; более позднее начало навигации и более раннее ее окончание, что практически исключает риск ледовых повреждений; защита бортов кринолинами, что, несмотря на большую частоту швартовок и шлюзований, уменьшает повреждаемость бортовых конструкций; отсутствие агрессивных грузов и рейферных грузовых операций.

Соответственно, скорости коррозионного изнашивания связей РКПС в 2–4 раза меньше скоростей изнашивания связей транспортных судов. Например, на судне пр. 301 износы корпусных конструкций за 30 лет составили: наружной обшивки днища – 2,4 %; наружной обшивки борта – 2,1 %; настила главной палубы – 6,3 %; настила второго дна – 2,1 %; поперечных переборок – 2,8 %; днищевого набора – 2,1 %; бортового набора – 2,4 %; палубного набора – 2,3 %. При этом повышенные скорости изнашивания связей у пассажирских судов наблюдаются в конструкциях палуб, особенно в районе бытовых помещений, где под сланями создается благоприятная для коррозии среда, а также в цистернах сточных вод.

Согласно [3], по степени повреждений, нанесенных людям, окружающей среде и техническим средствам, аварии и аварийные ситуации условно классифицируются пятью уровнями последствий (табл. 1). Формальная оценка последствий определяется по 5-балльной шкале.

Всего удалось получить сведения о 79 происшествиях с отечественными РКПС. Обращает на себя внимание тот факт, что более или менее открытыми

являются сведения о катастрофах ($C=5$), которые стали доступны благодаря средствам массовой информации и вмешательству администраций портов и флага.

Случаи с промежуточными уровнями последствий, которые могли негативно сказаться на репутации судовладельцев, последними, как правило, не обнародовались. Однако после аварии «Булгарии» подобный подход к исследованию проблем безопасности судоходства не может быть признан правильным, так как необходимо знать проблемы и обеспечить их решение за счет принятия мер по снижению риска.

В табл. 2 дана предложенная в [4] и расширенная в [1] краткая классификация основных групп идентифицированных опасностей, имеющих значение для исследования надежности и безопасности РКПС. Поскольку не все опасности имели место в авариях РКПС, в соответствующих столбцах стоят пропуски.

Общая частота возникновения опасности во всех исследуемых случаях определяется как $F_{AB} = N_I / N_{AB}$; частота возникновения опасности для наиболее тяжелых случаев (катастроф), имеющих уровни последствий $C=4$ и $C=5$, – как $F_{КАТ} = N_I / N_{КАТ}$, где N_I – число аварийных ситуаций с имевшей место i -й опасностью, N_{AB} – количество всех изучаемых аварий, $N_{КАТ}$ – количество катастроф.

Обращает на себя внимание, что для ряда опасностей $F_{КАТ} > F_{AB}$, что свидетельствует об их значительной роли в увеличении степени тяжести последствий событий. Среди них – водотечность (явная) непроницаемых конструкций, наличие незакрытых отверстий в наружном контуре (опасность 1.2) и близкая к ней по сути опасность 1.8 (т.е. потенциальная водотечность). Отмечается существенная доля в событиях, имеющих последствия $C=4$ и $C=5$, человеческого фактора в виде ошибок при проведении ремонта (опасности 1.3).

Особую роль играет смена судовладельца (опасность 3.9). Можно сказать, что именно переход РКПС из классических структур пароходств в небольшие частные компании инициирует значительную часть других опасностей, таких, как опасности 2.4, 3.4, 3.6, 3.8, 3.10, 3.13.

В сравнении с грузовыми судами РКПС, как правило, имеют заметно меньше проблем с корпусными конструкциями. Поэтому значительную часть аварийных происшествий связывают с выходом из строя машин и механизмов, устройств, систем. Отсюда особая роль опасности 1.10 (неисправности и выход из строя судовых систем) и 3.10 (сознательная эксплуатация при негодном техническом состоянии).

Обобщенные данные табл. 2 сформированы на основании обработки информации об авариях и аварийных происшествиях, приведенной в табл. 3.

Таблица 1
Классификация последствий аварий и аварийных ситуаций с РКПС

Уровень последствий C	Количество рассмотренных происшествий и катастроф	Степень повреждения		
		Воздействие на людей	Воздействие на окружающую среду	Повреждение технических средств
1 – Light Incident	44	Нет	Нет	Ничтожное
2 – Incident	20	Легкое телесное повреждение	Ничтожное	Незначительное
3 – Casualty	11	Серьезное, необратимое телесное повреждение	Существенное	Серьезное
4 – Serious Casualty	2	Потеря человеческой жизни	Критическое	Значительное
5 – Very Serious Casualty	2	Много человеческих жертв	Катастрофическое	Гибель судна

Таблица 2
Идентифицированные опасности для РКПС

№	Опасность	$F_{AB}, \%$	$F_{КАБ}, \%$
1	Опасности, связанные с техническим состоянием корпуса, машин, механизмов и систем судна	96,2	75
1.1	Несоответствие технологий, уровня качества и допускаемых дефектов речного судостроения требованиям для морской эксплуатации	-	-
1.2	Водотечность наружной обшивки, настила второго дна, обшивки второго борта, обшивки поперечных переборок, стенок цистерн	54,4	75,0
1.3	Нарушение технологии при выполнении построечных, ремонтных и модернизационных работ	67,1	75,0
1.4	Пропуски дефектов при дефектации корпуса, машин, механизмов и устройств	92,4	75,0
1.5	Ошибки проектировщиков	5,0	-
1.6	Неисправности и выход из строя машин и механизмов	69,6	25,0
1.7	Большие объемы замен корпусных конструкций при ремонте	27,8	25,0
1.8	Невыполнение требований по грузовой марке в отношении люковых крышек, комингсов и конструкций воздушных труб, вентиляторов, непроницаемых дверей	1,3	25,0
1.9	Неисправности и выход из строя якорного устройства	5,0	-
1.10	Неисправности и выход из строя судовых систем	17,7	25,0
1.11	Неисправности и выход из строя рулевого устройства	16,5	-
1.12	Неисправности и выход из строя грузового устройства	-	-
2	Опасности, связанные с нарушениями технологии перевозки пассажиров/груза	2,5	25
2.1	Перевозка металлолома	-	-
2.2	Перевозка взрывоопасных грузов	-	-
2.3	Грузовые операции с применением грейферов, тяжелых погрузчиков и бульдозеров	-	-
2.4	Нарушение порядка погрузки/выгрузки в порту, Инструкции по загрузке, Наславления по креплению грузов, Информации об остойчивости	2,5	25,0
3	Опасности, связанные с действиями судовладельца, береговых операторов и экипажа	97,5	100,0
3.1	Балластировка, не соответствующая указаниям Инструкции по загрузке и балластировке	-	-
3.2	Сознательное нарушение установленных ограничений по району и сезону плавания	3,8	25,0
3.3	Сознательные и кратковременные посадки на мель, выморозка	1,3	25
3.4	Навигационные ошибки	15,2	100,0
3.5	Контакт с льдом, контакт со стенками причалов и шлюзов, столкновение с другим судном	19,0	75,0
3.6	Халатное отношение служб порта, бассейнового управления, СРЗ	48,0	25,0
3.7	Ошибка прогноза	6,3	50,0
3.8	Перегруз судна	1,3	25,0
3.9	Смена судовладельца	6,3	25,0
3.10	Сознательная эксплуатация при негодном техническом состоянии	1,3	25,0
3.11	Нарушение условий перегона, буксировки	1,3	25,0
3.12	Нарушение безопасного режима отстоя судов	5,1	-
3.13	Халатность экипажа, несоблюдение им эксплуатационно-технической документации (ЭТД) и правил технической эксплуатации (ПТЭ)	78,5	100,0

Все из рассмотренных 79 случаев (см. табл. 3) были проанализированы на основе тех данных, которые имелись в распоряжении авторов отчета, а также с помощью математического моделирования различных сценариев развития событий путем построения «деревьев отказов» и «деревьев событий». В табл. 3 для каждой опасности указан по 3-балльной шкале коэффициент относительной ответственности (весомости) в рассматриваемом случае. По результатам исследования методами теории риска каждого происшествия назначались: балл «3» – опасность прямого действия, непосредственно приведшая к аварии; балл «2» – опасность косвенного действия, вызвавшая к жизни опасности с баллом «3»; балл «1» – фоновые опасности, оказавшие неблагоприятное воздействие на ситуацию.

Для каждой опасности был определен обобщенный уровень риска R , который определялся как произведение вероятности возникновения опасности F на последствия воздействия указанной опасности на объект C . Условная вероятность F определялась по 5-балльной шкале («1» – частота возникновения в 0 – 20 % аварийных случаях, «2» – в 21–40 %, «3» – в 41 – 60 %, «4» – в 61 – 80 %, «5» – в 81 – 100 %).

В табл. 4 представлена формальная оценка риска, полученная в двух вариантах: на основе всех рассмотренных аварийных ситуаций и для катастроф.

На основе данных табл. 4 были построены матрицы риска РКПС: на рис. 1 – для всех аварийных случаев и происшествий, на рис. 2 – для катастроф.

Анализ рис. 1 и 2 позволяет сделать следующие выводы о ранжировании опасностей:

- наибольшую опасность для РКПС представляют опасности: 3.4 (навигационные ошибки), 3.5 (контакт с льдом, контакт со стенками причалов и шлюзов, столкновение с другим судном), 3.13 (халатность экипажа, несоблюдение ЭТД И ПТЭ). Существующий уровень риска по данным опасностям относится к «недопустимому»;

- опасность 1.2 (водотечность наружной обшивки, настила второго дна, обшивки второго борта, обшивки поперечных переборок, стенок цистерн) имеет достаточно высокий формальный уровень риска как по частоте, так и по последствиям, который находится в т.н. зоне «ALARP», т.е. в пределах минимально допустимого практически уровня риска;

- опасности 1.8 (потенциальная водотечность) и 3.3 (посадки на мель) относятся к зоне «ALARP» за счет тяжести последствий;

- опасности 1.3 (нарушение технологии при выполнении построечных, ремонтных и модернизационных работ) и 1.4 (пропуски дефектов при дефектации корпуса, машин, механизмов и устройств) относятся к зоне «ALARP» за счет высокой частоты возникновения.

Таблица 3

Идентификация и последствия опасностей, способствовавших авариям и катастрофам РКПС

№ п/п	Проект, название, дата постройки, возраст на момент аварии, дата аварии [I _{1(3%)}]	Коэффициент относительной ответственности (балл) для вида опасности (см. табл. 2)																Последствия воздействия опасности, причины, формализованный уровень последствий (С)													
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2.1	2.2	2.3	2.4		3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13
1.	Пр. 301, Санкт-Петербург (Владимир Ильич), 1975, 9 лет, 16.07.1984 [I _{1(3%)}] = 2,5 м	2	1	1			1													3	2		1								2
2.	Пр. 646, Капитан Пономарев (40 лет ВЛКСМ), 1954, 33 года, 19.03.1987 [I _{1(3%)}] = 2 м	2		1																								3	2		
3.	Пр. 785, Булгария (Украина), 1955, 56 лет, 10.07.2011 [I _{1(3%)}] = 2 м	2	1	1	2			3		2			2								2	2			2	2	2			3	
4.	Пр. 785, Композитор Прокофьев, 1957, 37 лет, 10.10.1994 [I _{1(3%)}] = 2 м	2	1	1																	2	3		1				2			1
5.	Пр. 301, Андрей Рублев (Николай Добролюбов), 1981, 20 лет, 30.05.2001 [I _{1(3%)}] = 2 м			1	1	3																							2		
6.	Пр. 301, Александр Радищев, 1982, 8 лет, 25.04.1990 [I _{1(3%)}] = 2,5 м				1	3																									2
7.	Пр. 301, Александр Радищев, 1982, 6 лет, 25.07.1988 [I _{1(3%)}] = 2,5 м				1	3																									2
8.	Пр. 301, Александр Радищев, 1982, 25 лет, 02.07.2007 [I _{1(3%)}] = 2 м	1	2	1	3																		1								2
9.	Пр. 301, Александр Радищев, 1982, 27 лет, 03.05.2009 [I _{1(3%)}] = 2 м	1	2	2	3	1																	2								1
10.	Пр. 301, Константин Коротков (Советская	1			3																2	2		1							2

Затоплено МО и жилые помещения при посадке на мель и ударе о подводное препятствие. Судоводительская ошибка (4)

Затонул из-за нарушения условий отстоя (3)

Затонул в Куйбышевском водохранилище. Большое число погибших. Предварительные причины – нарушение ПТЭ, судоводительская ошибка, потеря устойчивости, водотечность корпуса, неисправность механизмов (5)

Затонул. Судоводительская ошибка во время перегона судна (4)

Поломка дизель-генераторов. Нарушение ПТЭ (2)

Повреждение вспомогательного двигателя. Нарушение ПТЭ (1)

Поломка вспомогательного двигателя. Нарушение ПТЭ (1)

Поломка насоса подачи масла. Нарушение ЭТД (1)

Неисправность ГД. Некачественный ремонт (2)

Выход из строя ГД из-за удара о шлюз. Нарушение ПТЭ (2)

№ п/п	Проект, название, дата постройки, возраст на момент аварии, дата аварии [t _{1(9%)}]	Коэффициент относительной ответственности (балл) для вида опасности (см. табл. 2)																Последствия воздействия опасности, причины, формализованный уровень последствий (С)													
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2.1	2.2	2.3	2.4		3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13
11.	Украина), 1976, 29 лет, 23.06.2005 [t _{1(9%)}] = 2 м Пр. 301, Николай Чернышевский, 1981, 25 лет, 30.10.2006 [t _{1(9%)}] = 2 м	1	2	2	3	1																2									
12.	Пр. 301, Ависена (60 лет Октября), 1977, 12 лет, 04.08.1989, [t _{1(9%)}] = 2 м	1	2	1	3		3															1									2
13.	Пр. 302, Княжна Анастасия (Николай Бауман), 1989, 1 год, 15.06.1990 [t _{1(9%)}] = 3 м		2	2	3		3															2									1
14.	Пр. 302, Русь, 1987, 1 год, 26.05.1988 [t _{1(9%)}] = 3 м		2	2	3		3															2									1
15.	Пр. 302, Юрий Андропов, 1986, 18 лет, 13.07.2004 [t _{1(9%)}] = 3 м	1	2	2	3	1																2									1
16.	Пр. 305, Алдан, 1960, 27 лет, 20.04.1987 [t _{1(9%)}] = 2 м	1	2	1	3		3															1									2
17.	Пр. 305, Александр Свешников (Волхов), 1961, 30 лет, 30.05.1991 [t _{1(9%)}] = 2 м	1	2	2	3	1																2									
18.	Пр. 305, Александр Свешников (Волхов), 1961, 25 лет, 25.08.1986 [t _{1(9%)}] = 2 м	1	2	1	3		3																								2
19.	Пр. 305, Виктор Гашков (Мария Ульянова), 1964, 29 лет, 04.03.1993 [t _{1(9%)}] = 2 м	1	2	1	3		3																								2
20.	Пр. 305, Григорий Пирогов (Буг), 1961, 28 лет, 27.09.1989 [t _{1(9%)}] = 2 м			1	3		3																								2
21.	Пр. 305, Бородино (Мотовилихинский рабочий), 1961, 24 года, 06.06.1985 [t _{1(9%)}] = 2 м	1	2	2	3		3															2									
22.	Пр. 305, Салават Юлаев (Ветлуга), 1963, 36 лет, 13.06.1999 [t _{1(9%)}] = 2 м	1		1	3		3				3												1								2

№ п/п	Проект, название, дата постройки, возраст на момент аварии, дата аварии [h _{13%}]	Коэффициент относительной ответственности (балл) для вида опасности (см. табл. 2)																	Последствия воздействия опасности, причины, формализованный уровень последствий (С)												
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1		3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13
23.	Пр. 588, Алтай, 1958, 29 лет, 31.07.1987 [h _{13%}] = 2 м		1	2	2	3	3	1														2								1	Неисправность ГД. Некачественный ремонт (1)
24.	Пр. 588, Юрий Никулин (Карл Либкнехт), 1956, 45 лет, 27.06.2001 [h _{13%}] = 2 м		1	2	2	3	3	1														2								1	Неисправность ГД. Некачественный ремонт (1)
25.	Пр. 588, Анатолий Папанов (К.Э. Циолковский), 1961, 40 лет, 13.07.2001 [h _{13%}] = 2 м		1	2	1	3	3														1								2	Повреждение котла. Нарушение ЭГД (1)	
26.	Пр. 588, Михаил Кутузов, 1957, 30 лет, 06.05.1987 [h _{13%}] = 2 м				1	3	3																						2	Неисправность ГД. Нарушение ЭГД (1)	
27.	Пр. 588, Очарованный Странник (Тарас Шевченко), 1958, 29 лет, 16.06.1987 [h _{13%}] = 2 м				1	3	3																						2	Неисправность ГД. Нарушение ЭГД (1)	
28.	Пр. 646, Мамин-Сибиряк, 1957, 47 лет, 08.06.2004 [h _{13%}] = 3 м		1	2	1	3	3	1														1							2	Неисправность ГД. Нарушение ЭГД (1)	
29.	Пр. 646, Капитан Пономарев (40 лет ВЛКСМ), 1954, 32 года, 01.04.1986 [h _{13%}] = 2 м				1	3	3																						2	Неисправность ГД. Нарушение ЭГД (1)	
30.	Пр. 785, Пересвет (Антон Рубинштейн), 1956, 34 года, 04.10.1990 [h _{13%}] = 2 м			2	2	3	3															2							1	Неисправность ГЭУ. Некачественный ремонт (1)	
31.	Пр. 785, Белоруссия, 1952, 34 года, 26.06.1986 [h _{13%}] = 2 м		1		1	3	3																						2	Неисправность ГЭУ. Нарушение ЭГД (1)	
32.	Пр. 785, Композитор Алябьев, 1958, 27 лет 04.12.1985, [h _{13%}] = 2 м				1	3	3																						2	Неисправность ГЭУ. Нарушение ЭГД (1)	
33.	Пр. 785, М.Ю. Лермонтов, 1957, 40 лет, 06.10.1997 [h _{13%}] = 2 м		1	2	2	3	3	1														2							1	Неисправность ГД. Некачественный ремонт (1)	
34.	Пр. 785, Михаил Годенко (Бородин), 1955, 37 лет, 17.09.1992 [h _{13%}] = 1,2 м		1	2	1	3	3																						2	Неисправность ГД. Нарушение ПТЭ (1)	

№ п/п	Проект, название, дата постройки, возраст на момент аварии, дата аварии [t _{1(3%)}]	Коэффициент относительной ответственности (балл) для вида опасности (см. табл. 2)																Последствия воздействия опасности, причины, формализованный уровень последствий (С)													
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2.1	2.2	2.3	2.4		3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13
47.	Пр. 588, Святая Русь (Родина), 1955, 52 года, 24.02.2007 [t _{13%}] = 2,5 м	1	2	2	1		1			1																				3	Пожар в надстройке. Нарушение ППЭ (2)
48.	Пр. 646, Капитан Пономарев (40 лет ВЛКСМ), 1954, 42 года, 28.08.1996 [t _{13%}] = 2 м	1	1	2	2		1															3	1						3	Пожар во время сварочных работ (2)	
49.	Пр. 785, М.Ю. Лермонтов, 1957, 45 лет, 20.06.2002 [t _{13%}] = 2 м		1	2	2					1												3								Пожар в МО во время ремонта (2)	
50.	Пр. 860, Космонавт Гагарин, 1961, 44 года, 04.10.2005 [t _{13%}] = 2 м	1		2	2			1																					3	Пожар в надстройке. Нарушение ППЭ (2)	
51.	Пр. 860, Сибирь, 1963, 22 года, 30.09.1985 [t _{13%}] = 2 м	1	2	1	1					1													3						3	Пожар во время огневых работ (2)	
52.	Пр. 92-016, Александр Суворов, 1981, 10 лет 14.08.1991 [t _{13%}] = 2 м		1		2																							3	Пожар в пассажирской каюте (1)		
53.	Пр. 92-016, Мстислав Ростропович (Михаил Калинин), 1980, 27 лет 05.11.2007 [t _{13%}] = 2 м			2	1																		3					3	Взрыв во время огневых работ (2)		
54.	Пр. 92-016, Валериян Куйбышев, 1980, 34 года 03.05.2009 [t _{13%}] = 2 м		1	2																								3	Пожар в надстройке. Нарушение ППЭ. Выгорело 6 кают (3)		
55.	Пр. Q-040А, Василий Суриков, 1975, 26 лет 28.09.2001 [t _{13%}] = 2 м			2	1																							3	Пожар в сауне (1)		
56.	Пр. 301, Кронштадт (Александр Ульянов), 1979 31 год, 13.05.2010 [t _{13%}] = 2 м	2		1														1	2	2								3	Столкновение с сухогрузным судном «Ялта». Пострадавших нет. Судоводительская ошибка (3)		
57.	Пр. 302, Княжна Анастасия (Николай Бауман), 1989, 20 лет, 26.07.2009 [t _{13%}] = 3 м																		2	3								1	Столкновение с речным пассажирским судном «Анна Каренина». Пострадавших нет. Судоводительская ошибка рулевого судна «Анна Каренина» (3)		
58.	Пр. 302, Сергей Киров, 1987, 23 года, 18.08.2010 [t _{13%}] = 3 м	2	1	1																2	2							3	Столкновение с двумя судами, затоплен один отсек. Пострадавших нет		

№ п/п	Проект, название, дата постройки, возраст на момент аварии, дата аварии [t _{19%}]	Коэффициент относительной ответственности (балл) для вида опасности (см. табл. 2)																Последствия воздействия опасности, причины, формализованный уровень последствий (С)													
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	2.1	2.2	2.3	2.4		3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13
59.	Пр. 305, Николай Масленников (Урал), 1953, 50 лет, 11.05.2003 [t _{19%}] = 2 м	2	1	1			1	1		1											3		3		1				3	2	
60.	Пр. 588, Анатолий Папанов (К.Э. Циолковский), 1961, 35 лет, 27.08.1996 [t _{19%}] = 2 м	2	1	1																	2	3								2	
61.	Пр. 588, Алексей Толстой (Н. Гастелло), 1954, 55 лет, 04.08.2009 [t _{19%}] = 2 м	2		1			1											1			2	2								3	
62.	Пр. 588, Илья Муромец, 1958, 50 лет, 11.08.2008 [t _{19%}] = 2 м	2	1	1			1													2	2	2		2						3	
63.	Пр. 646, Капитан Пономарев (40 лет ВЛКСМ), 1954, 33 года, 19.03.1987 [t _{19%}] = 2 м	2	1	1																	3								3	2	
64.	Пр. 860, Тобол, 1962, 41 год, 11.05.2003 [t _{19%}] = 2 м	2	1	1			1			1											3		3		1					2	
65.	Пр. 92-016, Александр Суворов, 1981, 2 года, 05.06.1983 [t _{19%}] = 2 м																	1			2	3	1							3	
66.	Пр. 26-37, Волга Дрим (Комарно), 1959, 49 лет, 18.10.2008 [t _{19%}] = 2 м	1	1	2		1	1					3																			
67.	Пр. 26-37, Капитан Пушкарев (XXI Съезд КПСС), 1960, 40 лет, 13.08.2000 [t _{19%}] = 2 м			2	1							3												2							
68.	Пр. 301, Санкт-Петербург						1	2				3																		2	

Таблица 4

Формальная оценка риска РКПС

Опасность (см. табл. 2)	Значения формальной оценки риска					
	для всех аварийных случаев			для катастроф		
	F	C	R	F	C	R
1.1	-	-	-	-	-	-
1.2	2,72	0,89	2,43	3,75	2,89	10,83
1.3	3,35	0,82	2,74	3,75	1,44	5,42
1.4	4,62	0,70	3,25	3,75	1,44	5,42
1.5	0,25	1,17	0,30	-	-	-
1.6	3,48	1,11	3,86	1,25	3,33	4,17
1.7	1,39	0,56	0,78	1,25	1,33	1,67
1.8	0,06	5	0,32	1,25	5	6,25
1.9	0,25	1,08	0,27	-	-	-
1.10	0,89	0,74	0,65	1,25	3,33	4,17
1.11	0,82	1,33	1,10	-	-	-
1.12	-	-	-	-	-	-
2.1	-	-	-	-	-	-
2.2	0,06	1	0,06	-	-	-
2.3	-	-	-	-	-	-
2.4	0,12	2,67	0,34	1,25	3,33	4,17
3.1	-	-	-	-	-	-
3.2	0,19	1,22	0,23	1,25	1,67	2,08
3.3	0,06	4	0,25	1,25	4	5
3.4	0,76	2,17	1,65	5	3	15
3.5	0,95	2,38	2,26	3,75	4,11	15,42
3.6	2,41	0,99	2,38	1,25	1,67	2,08
3.7	0,32	1,33	0,42	2,5	1,33	3,33
3.8	0,06	3,33	0,21	1,25	3,33	4,17
3.9	0,32	1,13	0,36	1,25	3,33	4,17
3.10	0,06	3,33	0,21	1,25	3,33	4,17
3.11	0,06	2,67	0,17	1,25	2,67	3,33
3.12	0,25	2	0,51	-	-	-
3.13	3,92	1,35	5,30	5	3,5	17,5

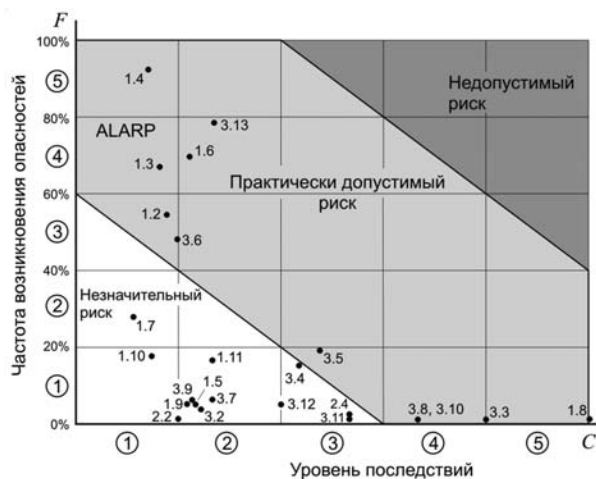


Рис.1 Матрица риска РКПС (для всех исследованных аварий)

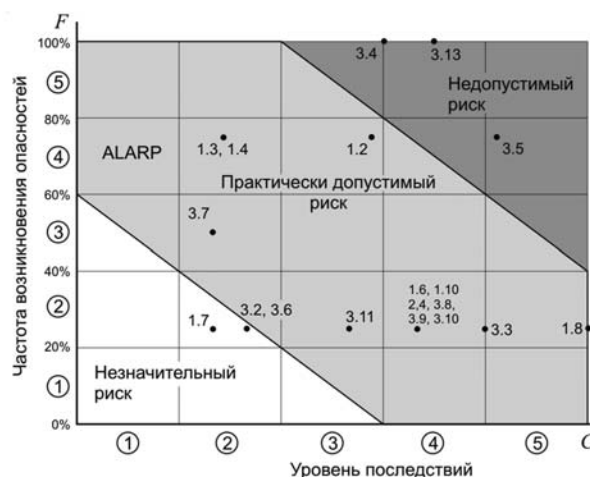


Рис. 2 Матрица риска РКПС (для катастроф)

Согласно подходам, принятым в методе формализованной оценки безопасности [2, 4], опасности, которые отнесены по уровню риска к зоне «недопустимого риска», должны быть подвергнуты процедуре управления риском (снижения частоты и/или последствий) при любом уровне затрат, требуемых

для этого. Опасности из зоны «ALARP» требуют проведения технико-экономического анализа с определением оптимальных по стоимости мероприятий по снижению уровня риска.

К практическим вариантам регулирования риска следует отнести меры организационные (в

эксплуатации) и меры при проектировании корпуса (нормирование).

Суть применения метода формализованной оценки безопасности состоит в том, что для ранжированных определенным образом опасностей следует найти такие меры по уменьшению их вероятности и последствий воздействия, стоимость Z реализации которых будет меньше изменения риска ΔR , также определенного в стоимостном виде.

Решение задачи управления риском РКПС при воздействии опасности 1.2 лежит в сфере организационно-технических мероприятий, осуществляемых во время наблюдения за фактическим состоянием корпусов судов при эксплуатации. Остальные опасности являются прямым следствием действия человеческого фактора и требуют соответствующих мероприятий по управлению им, в частности, введения Системы Управления Безопасностью для судов внутреннего плавания.

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

Даже по официальным данным, имеющим отношение только к судам с флагом России и приведенным в табл. 5, количество аварийных случаев, начиная с 2004 г., увеличивается. Статистика 2007 г., с учетом событий в Керченском проливе, эту отрицательную тенденцию сохранила.

Однако для РКПС, уровень подготовки экипажей которых в крупных компаниях продолжает оставаться достаточно высоким, такого роста аварийности, как в целом по флоту, не наблюдается.

Были построены графические зависимости числа аварий и катастроф от возраста судна (рис. 3) и

Таблица 5
Динамика аварийных случаев с судами под флагом России

Классификация аварийных случаев	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.
Кораблекрушения	3	6	7	7	7
Аварии	4	1	4	1	3
Аварийные случаи	55	35	37	58	64
Всего	62	42	48	66	74

распределение их по годам (рис. 4). На рис. 3 наблюдается устойчивый рост аварийности для судов старше 20 лет с пиком катастроф для судов с возрастом 25–35 лет. Рис. 4 позволяет отметить некоторый рост количества аварийных случаев с 2000 г. и в последующих годах, особенно с 2007 г.

Интерес представляет также распределение по классам аварий (табл. 6). Графически роль различных классов аварий представлена на рис. 5 – 7.

Как видно из табл. 6, при всех уровнях последствий практически половину всех случаев составляют случаи повреждений машин и механизмов, затем примерно по 18% – пожары (взрывы) и

Таблица 6

Распределение по классам аварий

Класс аварии	Затопление	Повреждения машин и механизмов	Пожары и взрывы	Повреждения корпуса	Повреждения устройств	Σ
Аварии и катастрофы						
Количество	4	37	14	10	14	79
Относительная доля	5,1 %	46,8 %	17,7 %	12,7 %	17,7 %	100,0 %
Аварии						
Количество	1	37	14	9	14	75
Относительная доля	1,3 %	49,3 %	18,7 %	12,0 %	18,7 %	100,0 %
Катастрофы						
Количество	3	0	0	1	0	4
Относительная доля	75,0 %	0,0 %	0,0 %	25,0 %	0,0 %	100,0 %
Относительная опасность класса аварии						
Доля аварий в общем количестве событий	2 5%	100 %	100 %	90 %	100 %	—
Доля катастроф в общем количестве событий	75 %	0 %	0 %	10 %	0 %	—

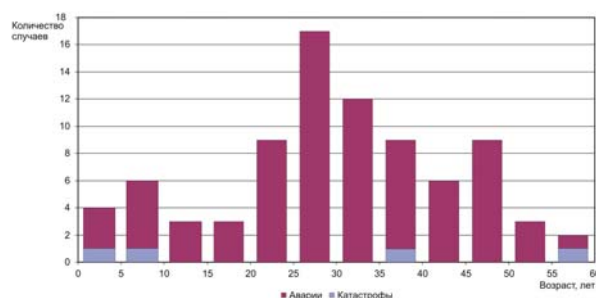


Рис. 3 Зависимости количества аварий и катастроф от возраста судна

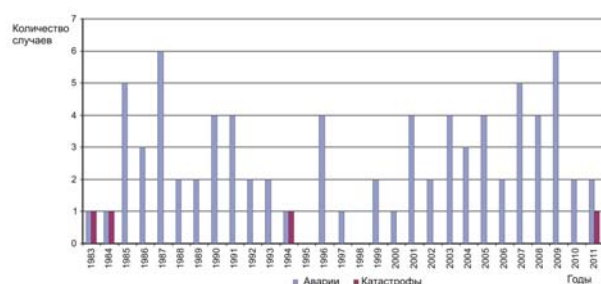


Рис. 4 Распределение количества аварий и катастроф по годам

выход из строя устройств, около 12% – повреждения корпуса и только 5% (а для аварий и того меньше) – затопления и опрокидывания.

Достаточно интересным представляется относительная опасность класса аварии. В трех из четырех событий, связанных с затоплением и потерей остойчивости, происходит гибель пассажирского судна. Каждое десятое судно с повреждением корпуса гибнет. Не зафиксировано ни одного события, связанного с повреждением устройств, машин и механизмов, которое привело бы к гибели судна.

Учитывая, что общее количество находившихся ежегодно в эксплуатации РКПС составляло около 140 судов, частота кораблекрушений РКПС за 1983 – 2011 гг. достигла примерно 1 случая на 1000 судов в год, что вполне соответствует среднемировому уровню. Данная оценка может быть признана достоверной, т.к. случаи с уровнем последствий $C=4$ и $C=5$ скрыть крайне сложно.

Ежегодная вероятность аварий и аварийных происшествий с РКПС за 1983 – 2011 гг. составляет (грубо) 19 случаев на 1000 судов в год. Однако имеющиеся в распоряжении авторов отчета данные по случаям с уровнями последствий $C=1$, $C=2$ и $C=3$ нельзя признать полными.

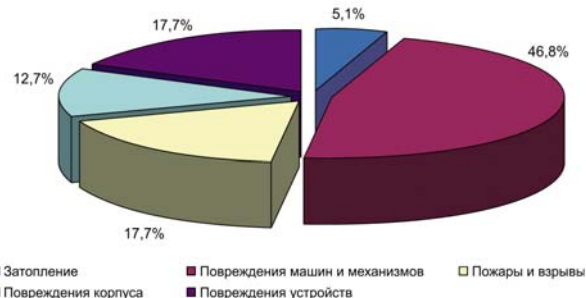


Рис. 5 Роль различных классов аварий (при всех уровнях последствий)

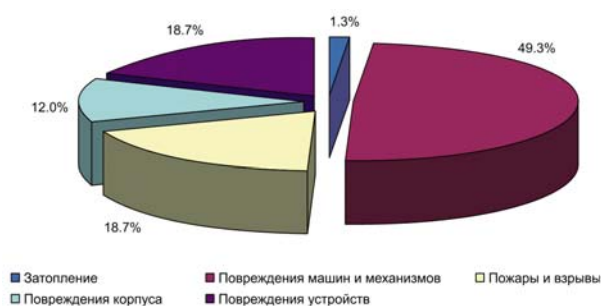


Рис. 6 Роль различных классов аварий (при уровнях последствий $C = 1, 2, 3$)

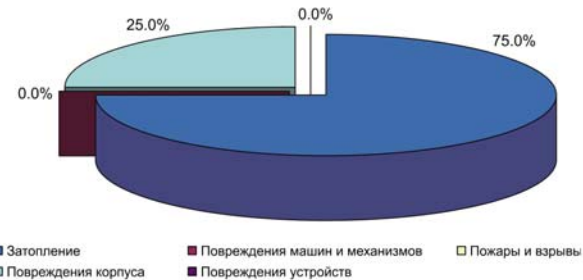


Рис. 7 Роль различных классов аварий (при уровнях последствий $C = 4$ и 5)

ВЫВОДЫ

В краткосрочной и среднесрочной перспективе решение проблемы обеспечения достаточной надежности и безопасности РКПС при сохранении приемлемого уровня эффективности возможно только вследствие обеспечения системного подхода на всех стадиях жизненного цикла, включая этапы классификации и совершенствования требований правил, проектирования, строительства, эксплуатации, освидетельствований, ремонта и модернизации.

Кардинальное долговременное решение проблемы требует строительства нового флота РКПС [2, 8].

С позиции безопасности судоходства и экологической безопасности при проектировании РКПС следует:

- не допускать размещения открываемых отверстий (иллюминаторов) в пределах непроницаемого основного корпуса;
- не допускать несимметричного по ширине распределения запасов, которое могло бы привести к возникновению крена при эксплуатации;
- не допускать размещения нефтесодержащих жидкостей (топлива, масла, подсланевых вод) в цистернах, контактирующих с забортной водой;
- использовать в качестве средств спасения современные эвакуационные системы, широко применяемые на морских пассажирских судах;
- оснащать пассажирские суда средствами записи действий вахты («черными» ящиками) и средствами аварийной внешней сигнализации;
- перейти к применению электронных карт и средствам автоматизированного определения координат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров А.Г. Анализ причин и последствий аварий судов внутреннего и смешанного плавания за 1991 – 2010 годы // Проблемы техники. – 2011. – №1. – С. 3 – 30.
2. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
3. Егоров Г.В. Развитие требований к средствам контроля загрузки морских и смешанного плавания судов // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – Вып. 5. – Одесса: ОГМА, 2000. – С. 36 – 53.
4. Егоров Г.В. Исследование риска при эксплуатации судов смешанного плавания // Сб. науч. тр. УГМТУ. – Николаев: УГМТУ, 2000. – №5. – С. 49 – 59.
5. Егоров Г.В. О причинах переломов корпусов судов // Проблемы техники. – 2002. – №2. – С. 3 – 15.
6. Егоров Г.В. Анализ аварий корпусов судов ограниченных районов плавания // Проблемы техники. – 2002. – №3. – С. 3 – 25.
7. Егоров Г.В. Суда смешанного река-море плавания: перспективы существующего флота // Сб.

науч. тр. НУК. – Николаев: НУК, 2008. – №3 (420). – С. 3 – 12.

8. Егоров Г.В. Перевозки отечественным водным транспортом, состояние речного флота и перспективы нового судостроения // Морская Биржа. – 2010. – №4 (34). – С. 20 – 26.
9. Егоров Г.В. Исследование риска аварий корпусов транспортных судов ограниченных районов плавания за 1991 – 2010 годы // Вестник ОНМУ. – Одесса: ОНМУ, 2010. – Вып. 30. – С. 53 – 76.
10. Емельянов М.Д. Критические элементы морских судов // Судостроение. – 2008. – №6. – С. 16 – 22.
11. Емельянов М.Д. Оценка риска и критические элементы морских судов // Проблемы развития морского флота: сб. науч. тр. – СПб., ЦНИИМФ, 2009. – С. 20 – 41.
12. Емельянов М.Д. Применение условных рисков для оценки безопасности морских судов // Транспорт Российской Федерации. – 2009. – №3 – 4 (22 – 23). – С. 40 – 45.
13. Обзор повреждений судов и их элементов за 1991 – 2001 гг. // Российский Речной Регистр. – М.: РРР, 2002. – 96 с.
14. Преснов С.В. Аварийность судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания в морских районах в 2002 г. // Наука и техника на речном транспорте: информационный сборник. – М.: ЦБНТИ МТ РФ, 2003. – С. 22 – 31.
15. Приказ Минтранса РФ от 1 ноября 2002 г. №136. «Об утверждении Положения о классификации судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания».
16. Шурпак В.К., Сергеев А.А. Анализ аварийности на судах с классом Регистра // Науч.-техн. сб. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2005. – Вып. 28. – С. 32 – 46.
17. Consolidated text of the Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO Rule-making process. MSC/Circ. 1023 – MERC/Circ. 392. – 14.05.2007.
18. Curry R. Merchant ship losses 1934-1993: an overview // RINA Transaction. – London, RINA, 1995. – P. 1 – 50.
19. General Cargo ships - danger overlooked? // The Naval Architect. – February 2003. – P. 30 – 32.
20. Manley C.V. Merchant ship losses - a general review // RINA Transaction. – London, RINA, 1965. – P. 539 – 548.

П.Г. Кладиев

Филиал ООО
«Газпром флот» в СПб



П.А. Киселев

Филиал ООО
«Газпром флот» в СПб



АНАЛИЗ ИНЦИДЕНТОВ, СВЯЗАННЫХ С ДИНАМИЧЕСКИМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМ СУДОВ

В настоящее время при освоении шельфовых нефтегазовых месторождений преимущественно используются плавучие технические средства, оборудованные системами динамического позиционирования (ДП).

Судовладельцы и фрахтователи судов предъявляют высокие требования к квалификации и опыту операторов систем ДП и уделяют серьезное внимание процедурам проверки и использования этих систем. В режимах ДП даже незначительный сбой в работе или нештатная ситуация способны вызвать неконтролируемое перемещение судна и привести к тяжелым авариям. Рис. 1 демонстрирует, насколько точными должны быть передвижения судна во время грузовых операций при работе с платформой.



Рис. 1 Грузовые операции судна в режиме ДП при работе с платформой

В мировой практике действует система сбора, анализа и обработки информации об инцидентах, связанных с нештатными ситуациями в режимах ДП. Механизм для анализа таких ситуаций был разработан Международной ассоциацией морских подрядчиков (ИМСА). На основе полученных от судовладельцев

данных формируется ежегодный сводный бюллетень, в котором анонимно представлен анализ и описание нестандартных ситуаций, причины их возникновения, сценарии развития событий и их последствия. Система направлена, прежде всего, на извлечение уроков и предотвращение серьезных аварий при шельфовых или других технологических и морских операциях. Обладая такими данными, проанализировав мировой опыт, любой судовладелец способен принять меры по снижению рисков, предотвращению или смягчению последствий потенциальных аварий на своих судах.

Извещения об инцидентах поступают в ИМСА не только от судовладельцев и компаний – членов ассоциации, но и от других заинтересованных организаций. По данным ИМСА, в 2009 г. были получены и обработаны извещения о 77 аварийных ситуациях и инцидентах, произошедших с системами ДП. Эти аварийные ситуации произошли на 46 судах, оснащенных системами ДП, при этом на 14 судах произошло по 2 – 3 инцидента, а на 32 судах – по одному. В последнее время количество судоходных компаний, вошедших в ИМСА, резко возросло, а их суммарный флот с системами ДП насчитывает более 750 плавучих технических средств.

На рис. 2 приведено процентное количество инцидентов, произошедших в 2009 г., в привязке к главной причине, вызвавшей инцидент.



Рис. 2 Процентное количество и причины аварийных инцидентов по данным ИМСА за 2009 г.

Каждому отдельному инциденту присваивается персональный идентификационный номер. Анализ инцидента выполняется в виде структурной схемы развития событий. Ниже приводится пример оформления анализа, комментарии с указанием первопричины инцидента, второстепенных причин и событий, сопутствующих инциденту.

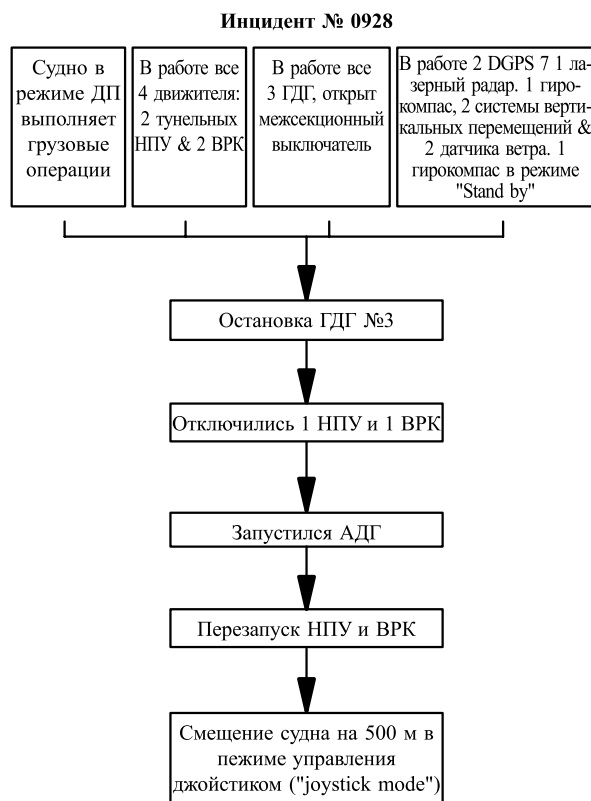


Рис. 3 Пример анализа инцидента

Комментарии:

Данный инцидент вызван непреднамеренной командой оператора, отправленной на главный компьютер.

Иницилирующее событие:

Непреднамеренный отказ от требуемого энергообеспечения.

Основная причина:

Человеческий фактор – размещение журнала на переключателе электропитания.

Второстепенная причина:

Человеческий фактор – рассеянность при смене вахты.

Зачастую инцидент может привести к аварийной ситуации или аварии с крайне тяжелыми последствиями, например – навалу судна на платформу, повреждению подводных трубопроводов, потере подводных аппаратов и др.

Зарубежный опыт показывает, что прорабатывать вопросы безопасной эксплуатации любых судов, особенно с системами ДП, необходимо уже на стадии их проектирования. При этом должны проводиться исследования по анализу потенциальных эксплуатационных неисправностей, оценке рисков, просчитываться наихудшие сценарии развития событий с целью предусмотреть в проекте конструктивные меры по минимизации и предотвращению последствий неисправностей. В этом заинтересованы заказчики и операторы судов, страховые организации. Учебные и тренажерные центры по подготовке операторов систем ДП также заинтересованы в применении собранных данных в программах обучения специалистов.

Российским нефтегазовым компаниям, участвующим в реализации проектов по освоению шельфовых месторождений Российской Федерации, в которых используются специализированные плавучие технические средства, оборудованные системами ДП, очень важно перенимать существующий мировой опыт. Им необходимо выполнять требования по подготовке операторов систем ДП, системно внедрять инструменты, помогающие проводить анализ состояния оборудования, подробно и корректно описывать проводимые морские операции в судовых журналах и вести учет времени использования систем ДП. Также необходимо активно использовать практику обмена информацией об инцидентах между операторами нефтегазовых судов с системами ДП, регулярно получать и анализировать данные по аварийным ситуациям, извлекать полезные уроки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IMCA M 211. Dynamic Positioning Station Keeping Incidents Reported for 2009 (DPSI 20). – International Marine Contractors Association, 2011.
2. IMO. Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems. IMO Maritime Safety Committee, Circ. 645, 1994.
3. IMCA M 182. International Guidelines for the Safe Operation of Dynamically Positioned Offshore Supply Vessels. Rev. 1. – International Marine Contractors Association, 2009.



ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

О.А. Чернов
ФАУ «Российский
морской регистр
судоходства»



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО ФЛОТА И МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

ВВЕДЕНИЕ

Грузы, которые доставляются морем и обрабатываются в портах всего мира, составляют около 80% физического объема общемировой торговли и свыше 70% ее стоимости. Торговая конкурентоспособность всех стран – как с развитыми экономиками, так и с развивающимися – зависит от наличия и эффективного использования морских портов и услуг по международным морским перевозкам. Перечисленные факты делают эту область мировой экономики объектом пристального внимания со стороны различных учреждений ООН, таких как Международная морская организация (ИМО), Международная организация труда (ИЛО), Конференция ООН по торговле и развитию (UNCTAD) и др.

Материалы настоящей статьи подготовлены на основании Обзора морского транспорта (Review of Maritime Transport), который вышел в свет в конце 2014 г. Такие обзоры, начиная с 1968 г., UNCTAD издает ежегодно, предоставляя в свободном доступе огромное количество статистической и аналитической информации о

многих аспектах развития морского транспорта и перевозок. В них традиционно присутствуют данные о глобальных изменениях в мировой экономике и морской торговле, о структуре мирового торгового флота, о фрахтовых ставках и т.д. [1].

Обзор за 2014 г. охватывает данные за период с января 2013 по июнь 2014 г. и в ряде случаев дает прогнозы, базирующиеся на современных математических моделях.

Отмечается, что мировая экономика сегодня по-прежнему переживает кризисные явления, появление которых было зафиксировано семь лет назад. Сказываются такие факторы, как неустойчивость цен на углеводороды, общественно-политические волнения в ряде регионов, кризис суверенного долга в Европе. Поэтому в 2014 г. мировая экономика продемонстрировала незначительный рост на 2,75%, что примерно на 0,5 % выше, чем годом ранее. Это улучшение объясняется увеличением показателей роста в развитых странах с 1,3 % в 2013 г. до примерно 1,8% в 2014 г. В развивающихся же экономиках, как и в предыдущие годы, фиксируется рост в 4,5–5 % [2].

Объем мировых морских перевозок в 2013 г. замедлил свой рост до 3,8 % и составил 9,5 млрд т (рис. 1). Примечательно, что из всех перевезенных грузов «сухие» грузы (насыпные, генеральные, контейнерные) составили 70,2 %, в то время как остальные 29,8% пришлось на «танкерные» (нефть, нефтепродукты, газ).

Суммарный тоннаж мирового флота тоже закономерно замедлил свой рост до 4,1 % (по сравнению с 6,0 % годом ранее). За последние 10 лет рост никогда не был таким слабым, что подтверждает выводы о завершении крупнейшего в истории «цикла судостроения». В период с 2001 по 2011 г. объемы поставок новых судов из года в год били все прежние рекорды. Лишь в 2012 г. впервые с 2001 г. в эксплуатацию было сдано меньше судов, чем за предыдущие 12 месяцев (под «судами» понимаются самоходные морские суда валовой вместимостью более 100, исключая суда внутреннего плавания, рыболовные суда, военные корабли, яхты, стационарные и мобильные морские платформы, баржи).

По состоянию на 1 января 2014 г. из 1,69 млрд т валовой вместимости всего мирового флота 43 % составляют балкеры, 29 % танкеры и 13 % – контейнеровозы.

Анализ ситуации с владением и регистрацией мирового флота выявляет интересную тенденцию, ранее не существовавшую. В дополнение к общепри-

нятым понятиям «флаг судна» и «страна, в которой зарегистрирована судоходная компания» вводится так называемая «реальная национальность судовладельца». За последние годы доля судов, национальность владельцев которых совпадает со страной, в которой зарегистрирована соответствующая судоходная компания, неизменно снижается. Это дает основание утверждать, что «национальность» судна, или «национальность» флота, переходит в третье измерение. В этой связи UNCTAD приводит такой пример наиболее типичного судна: сухогруз, находящийся в собственности компании, зарегистрированной в Великобритании, владельцем которой является грек; судно построено в КНР, находится в классе DNV-GL, использует моряков из Филиппин и ходит под флагом Кипра.

1. РАЗМЕР И СТРУКТУРА МИРОВОГО ФЛОТА

Мировой флот отметил тенденцию к росту в 2013 г., однако этот рост составил всего 65,9 млн т или 4,1 % по сравнению с предыдущим годом. Настолько медленным рост мирового флота не был ни разу за последние 10 лет. Так, в частности, с 2005 г. средняя скорость роста мирового флота составляла 7,5 %, а максимальная – 9,9 % в 2012 г., что позволило совокупному тоннажу мирового флота увеличиться в течение последних 10 лет вдвое (рис. 2).

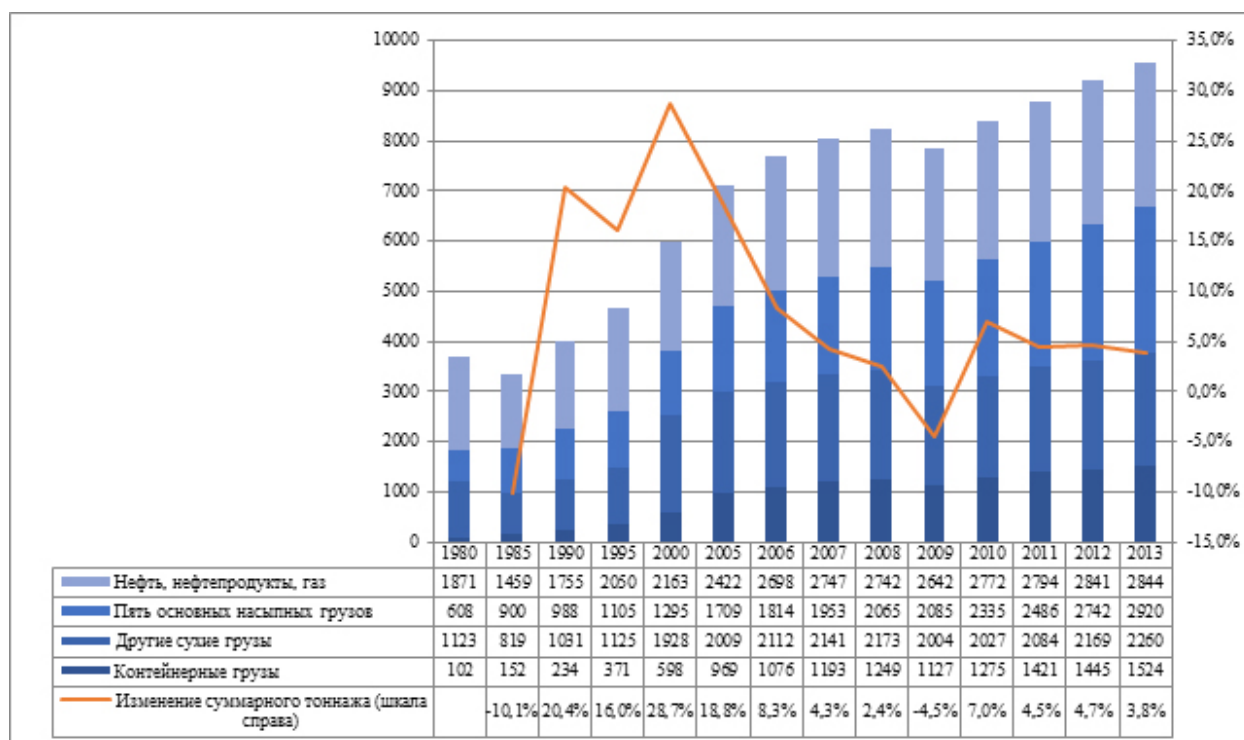


Рис. 1 Динамика международных морских перевозок, млн погруженных тонн

Примечание. Под «пятью основными насыпными грузами» понимаются уголь, зерно, железная руда, фосфатная руда и бокситы/глинозем; под «другими сухими грузами», – например, лес или негабаритные грузы.

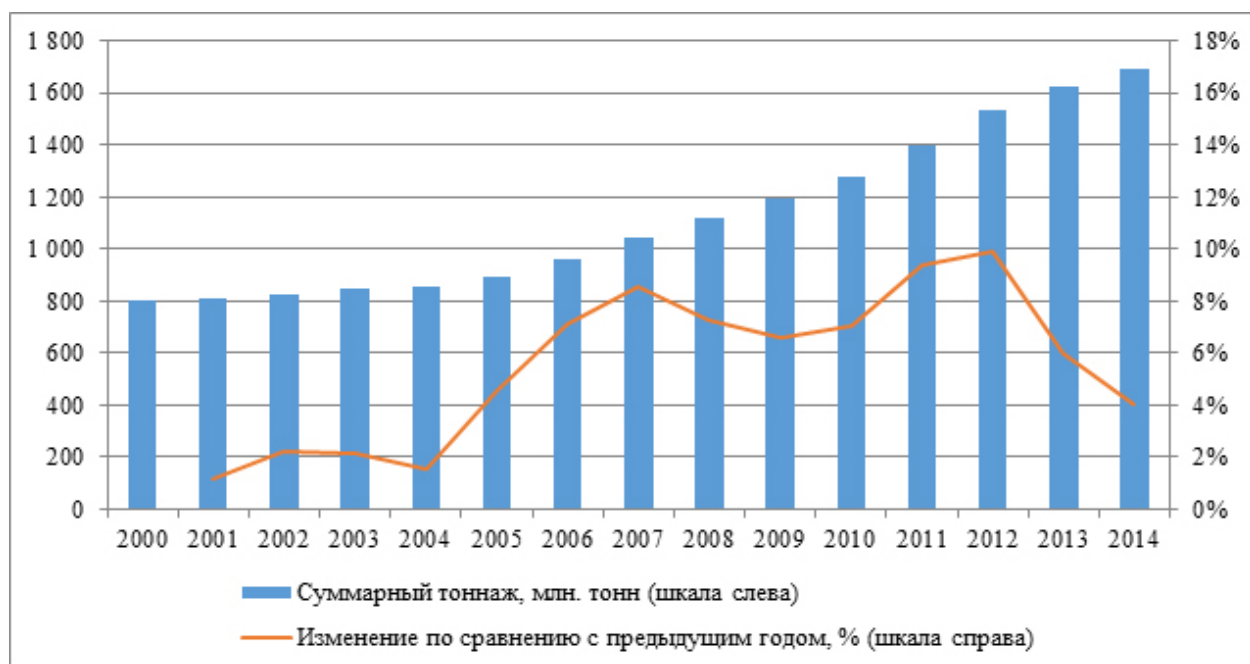


Рис. 2 Динамика изменения суммарного тоннажа мирового флота (данные на начало года в млн т дедвейта)

По состоянию на начало 2014 г. суммарный тоннаж мирового флота составил 1,69 млрд т, 43 % из которых – это балкерные суда общим тоннажем 726 млн т и 28,5 % – танкеры совокупным тоннажем 482 млн т. Удельные доли других типов судов приведены на рис. 3.

Всего за 4 года доля балкеров в мировом флоте выросла на 20 %, а в сравнении с данными за 1980 г. – на 58 %, при этом доля танкерного флота снизилась за аналогичные промежутки времени на 19 % и 43 % соответственно (рис. 4).

Другими примечательными трендами являются рост удельной доли судов для перевозки контейнеров (практически на 700% по причине того, что ненасытные грузы в последние десятилетия все более и более "контейнеризировались"), а также снижение доли судов для генгруза на 73 % с 1980 г.

При более детальном рассмотрении структуры флота по типам судов и ее изменений в 2013 г. видно, что наиболее заметные увеличения значений присутствуют в сегменте балкеров (+5,8 %), судов снабжения морских платформ (+5,1 %), контейнеровозов (+4,7 %) (табл. 1).

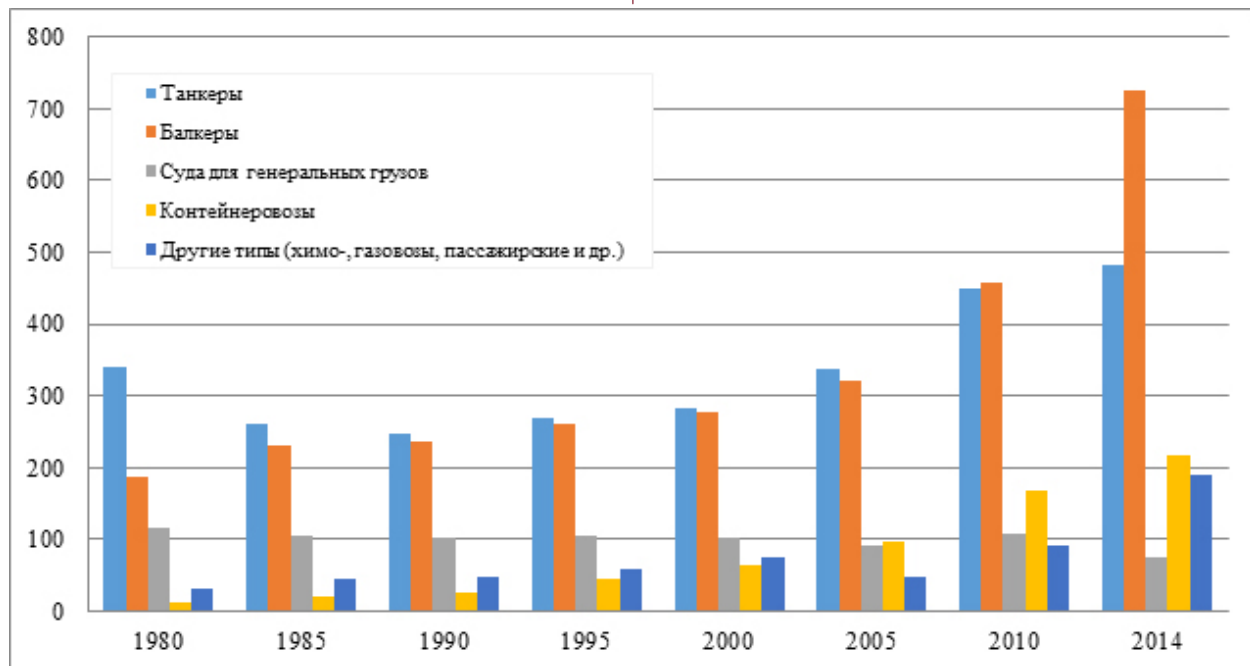


Рис. 3 Типы судов в мировом торговом флоте (тоннаж в млн т дедвейта)

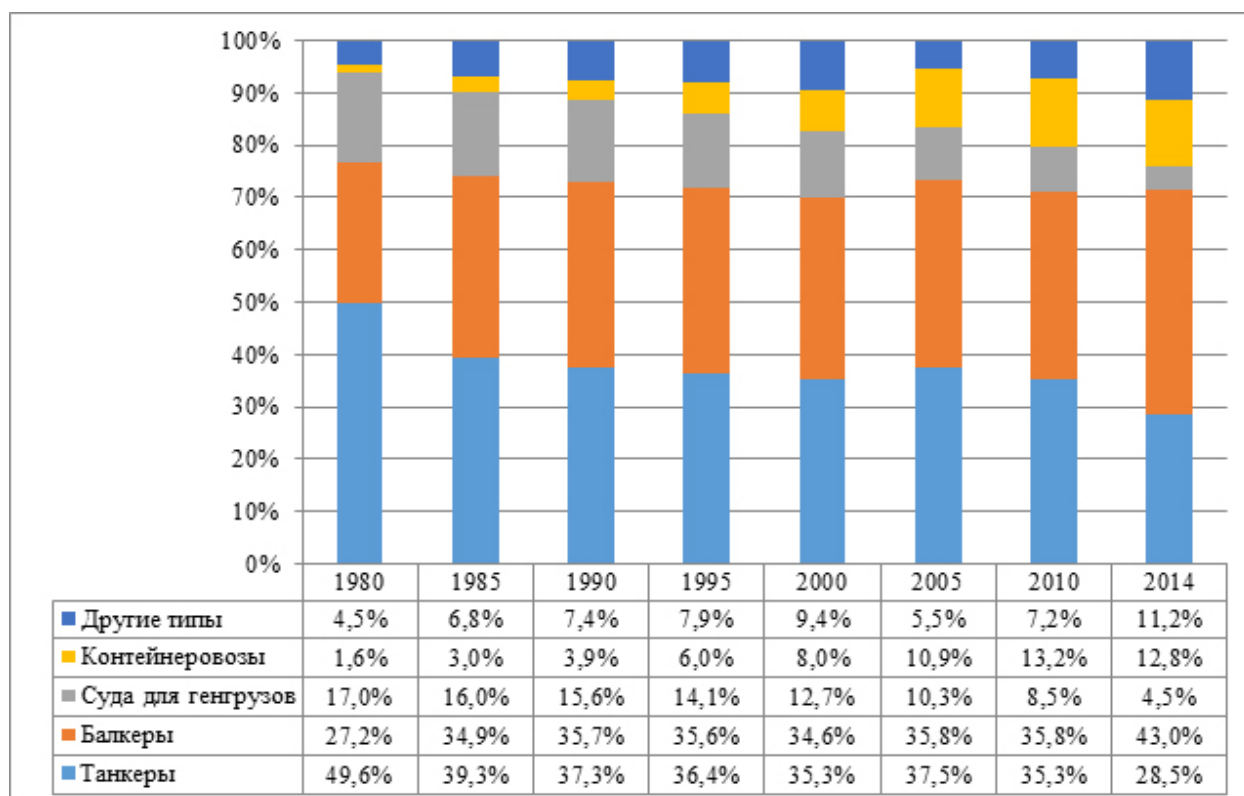


Рис. 4 Типы судов в мировом флоте (в процентах от суммарного тоннажа мирового флота)

Таблица 1

Структура мирового флота по основным типам судов, 2013–2014 гг. (данные на начало года в тыс. т дедевейта; доля рынка, %, выделена курсивом)

Типы судов	2013 г.	2014 г.	Изменение в процентах 2014/2013 гг.
Танкеры	472 890; 29,1	482 017; 28,5	1,9; – 0,6
Балкеры	686 635; 42,2	726 319; 42,9	5,8; 0,7
Суда для генеральных грузов	77 589; 4,8	77 552; 4,6	0,0; – 0,2
Контейнеровозы	206 547; 12,7	216 345; 12,8	4,7; 0,1
Другие типы:	182 092; 11,2	189 395; 11,2	4,0; 0,0
- газовозы	44 346; 2,7	46 427; 2,7	4,7; 0,0
- химовозы	41 359; 2,5	42 009; 2,5	1,6; 0,0
- суда снабжения морских платформ	68 413; 4,2	71 924; 4,3	5,1; 0,1
- паромы и пассажирские суда	5 353; 0,3	5 601; 0,3	4,6; 0,0
Другие суда	22 621; 1,4	23 434; 1,4	3,6; 0,0
Итого, мировой флот:	1 625 750; 100	1 691 628; 100	4,1; 0,0

2. ВЛАДЕНИЕ И РЕГИСТРАЦИЯ МИРОВОГО ФЛОТА

Понятие "удобного флага" уже давно стало привычным в мировом судоходстве. Практика упрощенной регистрации судов, которую ввели такие флаги как Панама, Либерия, Гондурас и некоторые другие, активно используется и сегодня. Достаточно сказать, что, например, по данным на 1 января 2013 г., 73% всех судов в мире было зарегистрировано под иностранным флагом (рис. 5). Под иностранным флагом в данном случае понимается флаг, не совпадающий со страной регистрации судоходной компании.

Список десяти флагов регистрации крупнейших флотов мира не изменился в сравнении с 2013 г. (табл. 2). Флот под каждым из них вырос за отчетный год и в ряде случаев – существенно. Так, рост на 13,2 % показал флот под флагом Сингапура, на 9,7 % – под флагом Маршалловых островов, на 7,6 % – под флагом КНР.

Тезис о том, что некоторые флаги специализируются на конкретных типах судов, подтверждают данные, приведенные на рис. 6. Так 56 % тоннажа флота Панамы и 48 % Мальты составляют балкеры, в то время как 59 % флота острова Мэн, 52 % Багамских островов и 50 % Маршалловых островов



Рис. 5 Глобальная доля судов, зарегистрированных под иностранными флагами в процентах от совокупного дедвейта мирового флота (данные по состоянию на 1 января 2013 г.)

Таблица 2

Флаги регистрации крупнейших флотов мира (данные на начало 2014 г., в скобках - на начало 2013 г.)

Флаг регистрации	Количество судов	Совокупный тоннаж, тыс. т	Всего в процентах от совокупного тоннажа мирового флота
Панама	8 547	356 348 (348 112)	21,07 (21,41)
Либерия	3 172	205 225 (199 614)	12,13 (12,28)
Маршалловы о-ва	2 252	152 355 (138 862)	9,01 (8,54)
Гонконг	2 326	138 200 (129 079)	8,17 (7,94)
Сингапур	3 535	103 786 (91 654)	6,14 (5,64)
Греция	1 534	77 289 (75 385)	4,57 (4,64)
Багамские о-ва	1 422	74 904 (73 780)	4,43 (4,54)
КНР	3 685	73 891 (68 700)	4,37 (4,23)
Мальта	1 794	72 967 (68 377)	4,31 (4,21)
Кипр	1 048	32 631 (31 942)	1,93 (1,96)
Другие	58 611	404 032 (400 245)	23,88 (24,62)
Итого, мировой флот:	87 926	1 691 628 (1 625 750)	100,00 (100,00)

– танкеры. На контейнеровозных же судах специализируются такие флаги, как Антигуа и Барбуда, Либерия и Кипр.

Как упоминалось выше, о «национальности» судна принято судить либо по его флагу, либо по стране регистрации его судоходной компании. В последние годы отмечается тренд, при котором судовладельцы все чаще уходят в «третьи» страны и владеют компаниями, зарегистрированными в иных экономиках, отличных от их родины. Так, например, из табл. 3 видно, что 15,4 % тоннажа мирового флота принадлежит компаниям, зарегистрированным в Греции, и при этом 16,9 % тоннажа мирового флота, т.е. примерно на 25 млн т больше, принадлежит судовладельцам-грекам. Обратный пример – Сингапур, где зарегистрированы компании, владеющие 4,4% тоннажа мирового флота, однако при этом судовладельцам-сингапурцам принадлежит лишь 3,3 % тоннажа мирового флота.

Подобная ситуация складывается с Бермудскими островами, небольшой британской колонией,

являющейся мировым лидером по ВВП на душу населения (104 610 \$ в 2012 г.). 2,2 % тоннажа мирового флота принадлежит компаниям, зарегистрированным в Бермудах, и лишь 0,7 % – судовладельцам-бермудцам. Комментируя эту тенденцию, UNCTAD вводит понятие «реальной национальности судовладельца», которая зачастую отличается и от флага судна, и от страны регистрации компании. В табл. 3 приведены эти и другие данные, характеризующие самые крупные судовладельческие державы.

3. БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ

На сегодняшний день актуальной остается проблема обеспечения безопасности мореплавания, охраны человеческой жизни и защиты окружающей среды, поскольку риски, возникающие при этом, по-прежнему велики и усугубляются новыми факторами,

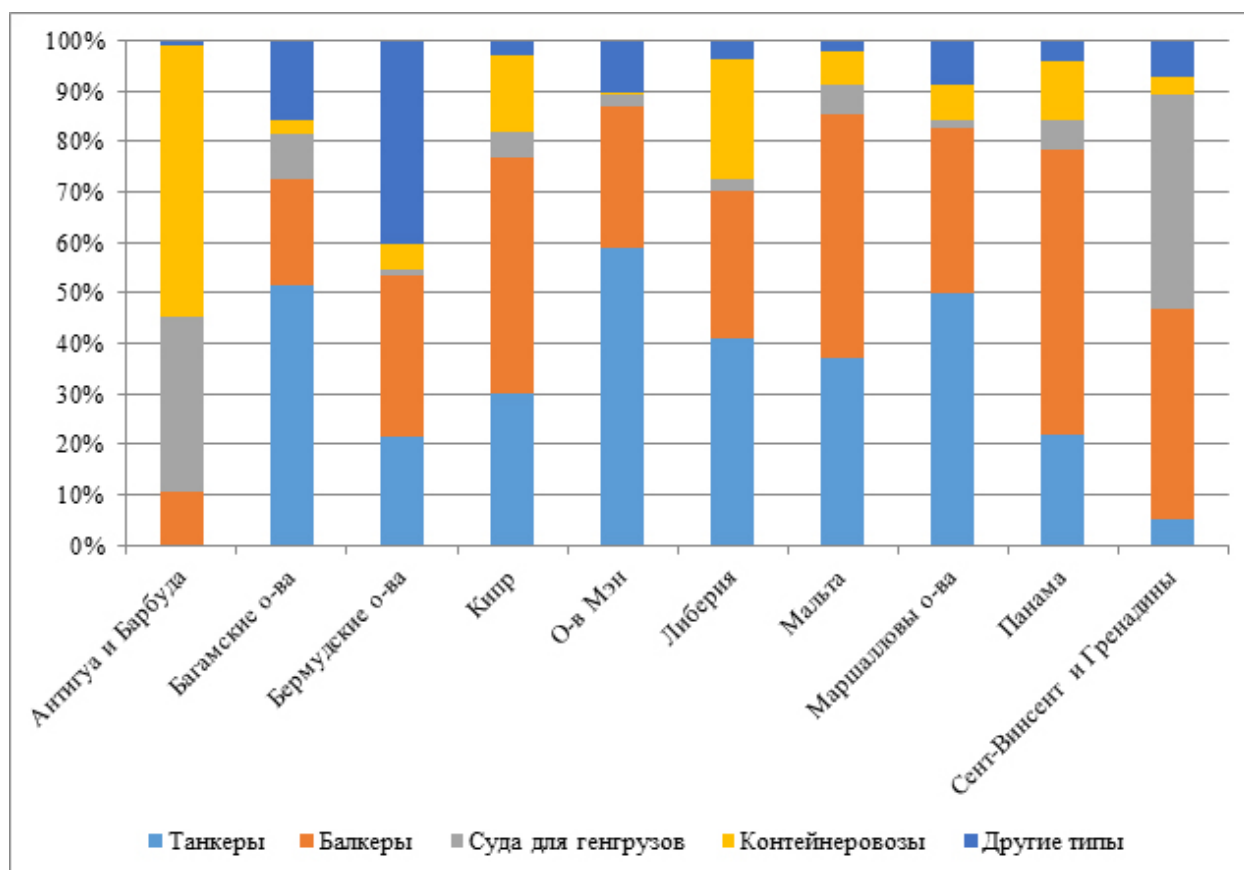


Рис. 6 Типы судов, зарегистрированных в 10 основных открытых регистрах, 2011 г. (в процентах от совокупного дедевейта)

Таблица 3

«Национальность» мирового флота относительно страны регистрации судоходной компании и реальной национальности судовладельца (данные на начало 2014 г.)

Страна	Регистрация судоходной компании, % от мирового флота	Доля флота под иностранным флагом, %	Реальная национальность судовладельца, % от мирового флота
Греция	15,4	73	16,9
Япония	13,6	92	14,1
КНР	11,9	63	11,2
Германия	7,6	87	7,6
КНДР	4,7	79	5,0
Сингапур	4,4	45	3,3
США	3,4	85	3,5
Великобритания	3,2	84	1,5
Тайвань	2,8	92	2,8
Норвегия	2,6	94	3,7
Дания	2,4	99	2,5
Бермудские о-ва	2,2	99	0,7
Остальные	25,8	75	27,2
Итого	100,0	73	100,0

такими как морское пиратство, глобальные изменения климата и др.

Осуществляемые морской индустрией меры по содействию повышению безопасности судоходства носят всеобъемлющий характер. Различные международные организации и ассоциации, вовлеченные как в законотворческие, так и

непосредственно технические процессы, учитывают существующие риски и предпринимают активные действия по их снижению. По информации Международного союза морского страхования (IUMI), доля гибнущих судов относительно совокупного мирового флота год из года стабильно сокращается (рис. 7) [3].

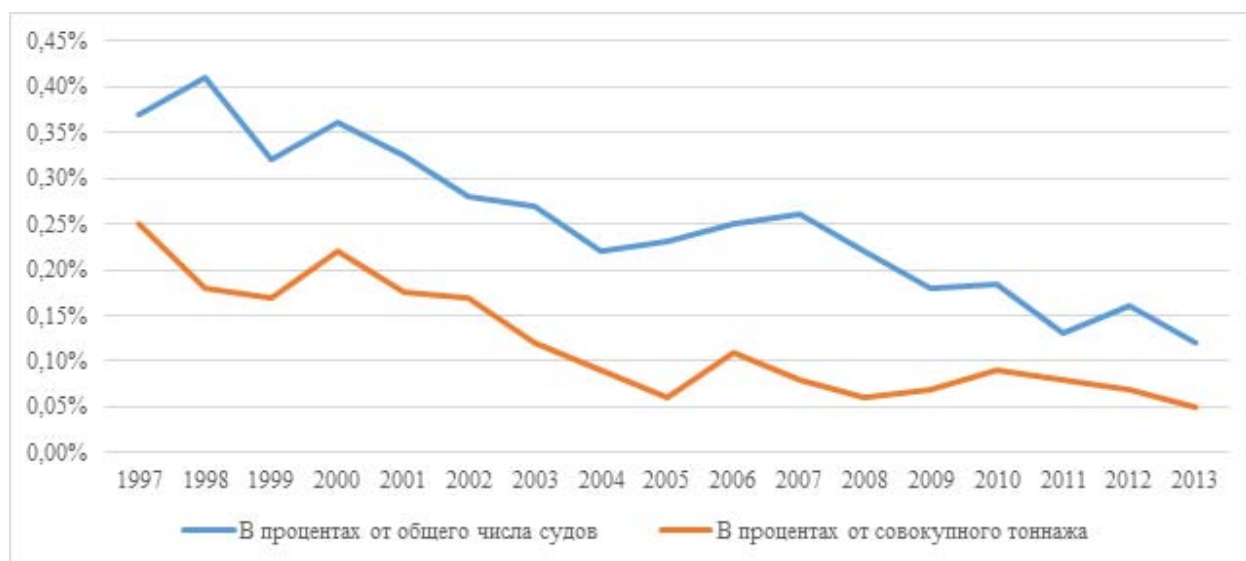


Рис. 7 Доля гибнущих судов относительно совокупного мирового флота, 1997–2013 гг. (в процентах от общего числа судов и от совокупного тоннажа)

4. ПРОГНОЗЫ

Среднесрочные перспективы развития мировой экономики в целом и торгового мореплавания в частности остаются положительными. Ожидается, что глобальная экономика в ближайшее время продолжит расти примерно на 3,5 % в год, несмотря на то, что рост экономики Китая замедлится с 10 % до 7 %, а в США останется на уровне 2,5 %.

Вместе с тем, в 2014 – 2015 гг. рост объемов морских перевозок прогнозируется на уровне 4 – 5 %. Наибольшее влияние окажут растущие перевозки железной руды, угля, контейнерных грузов и сжиженного природного газа (СПГ).

Объемы перевезенной нефти и нефтепродуктов покажут незначительный прирост на 2 %, главным образом из-за снижения импорта в США, которые в условиях сланцевой революции выступают в роли потенциального экспортера сырой нефти, а также из-за ограничиваемого общественно-политическими волнениями экспорта в северно-африканском регионе.

Прогнозируется рост потребления СПГ в азиатско-тихоокеанском регионе и в США, что повлечет за собой увеличение перевозок этого продукта примерно на 5 %. Открывающиеся места добычи на Каспии, в Западной Азии и Африке (например, в Израиле, Мозамбике, Танзании), а в более долгосрочной перспективе – в Китае, также будут способствовать росту объема перевозимого морем СПГ. Ожидается, что в США будут построены мощности для производства более 200 млн т СПГ в год, или в 2,5 раза больше, чем у Катара. Проекты производства и обработки СПГ разворачиваются также в Австралии, Индонезии, Малайзии, Сингапуре.

В качестве предпосылок к росту глобального потребления СПГ сегодня называют не только растущие объемы производства и экспорта в ведущих экономиках мира, но и снижение использования в мире ядерной энергии и продолжающиеся открытия новых месторождений, а также «экологичность» данного вида топлива.

Рост объемов насыпных грузов, перевезенных морем, прогнозируется на уровне 4,5 % по причине, главным образом, растущего потребления железной руды в Китае и США. Кроме того, импорт железной руды возрастет в таких развивающихся экономиках, как Вьетнам, Малайзия, Индонезия, а также Индия, Бангладеш, Египет, Турция.

Крупнейшие австралийские компании по добыче и экспорту железной руды планируют увеличивать свои рудники, что также отразится на объемах морских перевозок.

Рынок угольной промышленности традиционно будет определяться преимущественно величиной добычи угля в Китае, которая становится все более безопасной и развитой в инфраструктурном аспекте. В то время как экспорт угля из Австралии и Колумбии будет расти, Индонезия, вследствие введения внутренних ограничений, может утратить статус мирового лидера по экспорту угля.

Рынок контейнерных перевозок, как ожидается, продолжит свой рост на уровне 5 – 6%. Помимо основного торгового пути «восток-запад», продолжат свое активное развитие и второстепенные маршруты, в том числе внутри региональные, главным образом в Азии. Этому будет способствовать экономическое сотрудничество между странами-участниками АСЕАН.

ВЫВОДЫ

Рассмотренные выше тенденции в комплексе взаимосвязаны и создают для отрасли как проблемы, так и возможности. Связанные с ними последствия для судоходства и морских перевозок, при изменении уровня издержек, цен и сравнительных преимуществ, могут в огромной степени определять динамику торговли стран и их конкурентоспособность. На рис. 8 представлены результаты долгосрочных прогнозов изменения мировой экономики и морского бизнеса.

Данные прогнозы делают необходимым глубокое понимание существующих проблем и их последствий, которое невозможно без активного

привлечения всех заинтересованных сторон, в том числе директивных органов, инвесторов, органов по планированию транспортных сетей, операторов и управляющих компаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. UNCTAD. Review of Maritime Transport. Обзоры морского транспорта.
2. UNCTAD. Trade and Development Report. Доклады о торговле и развитии.
3. IUMI. Отчеты о состоянии мирового флота и торговли.

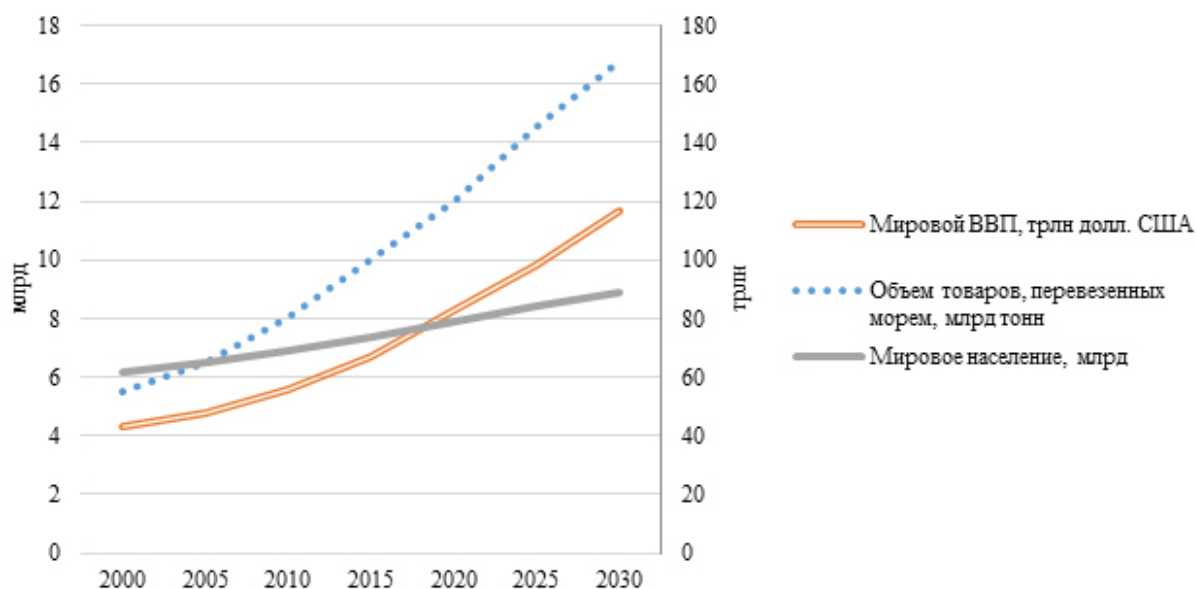


Рис. 8 Прогнозы изменения мирового ВВП, мирового населения и объема товаров, перевезенных морем

О.В. Таровик**А.А. Бахарев****А.Г. Топаж**

д-р техн. наук

А.В. Косоротов**А.Б. Крестьянцев****А.А. Кондратенко**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ФЛОТА КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СУДОВ И ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование современных судов ледового плавания на ранних стадиях неразрывно связано с вопросами технико-экономической оптимизации и анализа работы морских транспортных систем (МТС). Это обусловлено как необходимостью обеспечения эффективности судов в составе МТС, так и особенностями современных ледовых судов, узкая специализация которых, большой дедвейт, а также дефицит услуг по ледокольному сопровождению значительно повышают цену ошибок на этапе проектирования МТС.

Для решения широкого круга задач проектирования и оптимизации параметров МТС в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» в 2012 – 2014 гг. был разработан специальный программный комплекс (ПК) «МТС-модель». Идея создания ПК заключается в интеграции в рамках единого программного обеспечения решений из различных предметных областей, имеющих отношение к исследованию МТС, к проектированию и оптимизации характеристик судов в их составе, а именно:

- динамических имитационных моделей (ИМ);
- геоинформационных сред (ГИС);
- судостроительных дисциплин.

Интеграция трех указанных направлений на основе объектно-ориентированного подхода сделала возможной программную реализацию следующего принципа исследования МТС: суда представляются как самостоятельные объекты, движущиеся и взаимодействующие в ГИС под управлением логических блоков динамической ИМ. Применение такого подхода позволило получить качественно новый инструмент проектирования судов и исследования МТС, отличающийся как широтой спектра решаемых задач, так и числом натуральных факторов, учитываемых при выполнении исследований.

1. РОЛЬ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ В ПК «МТС-МОДЕЛЬ»

ГИС, в которой моделируется движение судна, содержит данные трех типов:

- слои, формирующие географическое пространство для навигации;
- слои и базы данных природных условий, необходимые для расчета параметров движения;
- зоны с особыми экономическими условиями или логическими ограничениями.

К географическим слоям относятся: береговая черта, батиметрические условия, стандартные неуклоняемые маршруты движения (фарватеры) и слой «закрытых» навигационных пространств. Последний слой ограничивает участки моря с глубинами менее 20 м, а также сглаживает неровности конфигурации береговой черты в целях упрощения автоматической навигации судов. Движение судов вне закрытых пространств не регламентируется заранее заданными маршрутами, но внутри них движение судов возможно только по фиксированным маршрутам.

Слои природных условий включают вероятностные данные о ветре и волнах, условия видимости, параметры льда и ледовых сжатий. Описание ледовых условий производится с помощью сеточного подхода: вся акватория замерзающих морей России поделена на квадраты определенного размера (для арктических морей принят шаг 0,25 град), в которых определены параметры льда для легких, средних, тяжелых и экстремально тяжелых ледовых условий отдельно для каждого календарного месяца. Для каждого квадрата определены такие характеристики льда, как сплоченность (общая и частная), возрастной состав, форма, торосистость, заснеженность, разрушенность, вероятностные характеристики ледовых сжатий и разрывов сплошности льда, а также его прочностные характеристики – все те параметры, которые необходимы для расчета скорости движения судов и расходов топлива. Отметим, что в ПК «МТС-

модель» реализован механизм поиска оптимального пути следования судов во льдах (роутинг), который позволяет не только определить путь, соответствующий минимальному времени следования, но и найти оптимальный объем ледокольного сопровождения с учетом условной стоимости привлечения ледокола. Слой ветроволновых условий содержит статистические данные о параметрах ветра и волнения во всех регионах Мирового океана и учитывается при расчете параметров движения судов наряду с глубинами моря и условиями видимости.

В ПК «МТС-модель» реализована технология создания зон с особыми экономическими условиями, регионов, для которых могут быть заданы различные правила исчисления налогов и сборов в зависимости от характеристик судна, времени года и параметров груза. Особый тип регионов используется для описания зон работы ледоколов или иных логических ограничений.

Таким образом, использование геоинформационных технологий позволяет не только снизить затраты времени на подготовку исходных данных о природных условиях, но и обеспечивает практическую возможность реализации логики движения и взаимодействия судов, которая неразрывно связана с геоинформационным пространством.

2. НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН

При создании ПК «МТС-модель» было выделено три основных направления использования судостроительных дисциплин:

- расчет ходовых качеств судов во всех эксплуатационных условиях;
- определение основных характеристик судов различных типов;
- технико-экономический анализ.

Все аспекты оценки ходовых качеств судов реализованы в программном модуле «Механик», который позволяет выполнять расчеты параметров движения судна в природных условиях всех типов, включая движение по тихой воде, в условиях ветра и волнения (с учетом принудительного снижения скорости, обрастания корпуса и влияния ограниченной глубины), самостоятельное движение в ледовых условиях, движение в караване за ледоколом, движение в смерзающемся ледовом канале и другие. Модуль «Механик» позволяет моделировать суда с многовальными установками, а также учитывать специфику энергетических установок с различными типами передачи мощности на гребные валы. Расчеты параметров движения судна (достижимая скорость хода и расход топлива для заданной скорости) производятся для любых достижимых случаев загрузки пропуль-

сивного комплекса при любом сочетании природных условий. Другими словами, модуль «Механик» является универсальным расчетным инструментом, который инкапсулирует различные методы расчета ходкости судов, причем при его создании использованы как существующие методы, так и новые разработки.

Параметры судна, необходимые для работы модуля «Механик», содержатся в классе «Тип судна» (аналог понятия «проект» в конструкторском бюро) и могут быть либо введены вручную (суда существующих проектов), либо определены с помощью расчетных моделей. Расчетные модели определения основных характеристик судов на ранних стадиях проектирования позволяют на основе ограниченного числа входных параметров (грузовместимость, ледовый класс, скорость хода, ледопроечность и другие) получать полный перечень требуемых для расчетов характеристик судов различных типов (танкеров, газовозов LNG и LPG, многоцелевых контейнерных судов, рудовозов и т.п.) в разных состояниях загрузки. Особенностью разработанных моделей является учет влияния ледового класса на размерения, ходовые качества и весовую нагрузку судна на основании специально разработанной методики [1], которая позволяет решать актуальную задачу оценки характеристик судов ледового плавания, не имеющих прототипов или аналогов. Информация, содержащаяся в классе «Тип судна», включает не только общепроектные параметры для всех состояний нагрузки судна, но может также содержать информацию о силах сопротивления движению судна в различных условиях, параметрах гребных винтов и других ходовых параметрах, если эти данные известны по результатам испытаний.

Блоки технико-экономического анализа включают методы определения строительной стоимости судов с учетом особенностей верфи-строителя, методы определения фрахтовой ставки, портовых сборов, а также алгоритмы определения интегральных экономических показателей МТС с учетом береговой инфраструктуры, различных схем владения флотом, кредитования строительства судов и т.п.

3. ПРЕИМУЩЕСТВА ДИНАМИЧЕСКИХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Динамическая ИМ, с одной стороны, характеризуется высокой вычислительной сложностью по сравнению со статической моделью, но с другой – принципиально увеличивает возможности моделирования, добавляя в него временную ось и логику движения и взаимодействия судов [2]. Сопоставление возможностей статической и динамической моделей применительно к описанию работы МТС в ледовых

условиях приведено в таблице. Как видно, динамическая модель обеспечивает принципиальную возможность решения практически любых задач исследования МТС.

4. СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «МТС-МОДЕЛЬ»

Как правило, каждая задача исследования МТС имеет свою специфику, однако опыт выполненных работ позволил выделить три типа вычислительных экспериментов, в которые укладывается большинство задач исследования МТС:

- определение интегральных параметров движения судов на маршрутах (время рейса, затраты на топливо, сборы, время ледокольного сопровождения и т.п.);
- оптимизация основных характеристик судов, входящих в МТС, и определение их количества;
- исследование работы МТС на основе имитационного эксперимента, в котором присутствует временная ось и реализована логика работы МТС.

В соответствии с этим разделением, в ПК «МТС-модель» реализованы три самостоятельных функциональных модуля для решения каждой из задач («Маршрутные затраты», «Оптимизационный блок» и «Имитационная модель» соответственно). Управление

последовательностью расчетов, задание всех статических и динамических сущностей рассматриваемой МТС, а также последующий анализ результатов осуществляется в отдельном модуле-оболочке – «Конструкторе сценариев». Принципиальная структура ПК «МТС-модель» представлена на рис. 1, где стрелками показана типовая последовательность расчетов.

Не останавливаясь подробно на деталях работы «Конструктора сценариев», расчетах маршрутных затрат (рис. 2) и особенностях «Оптимизационного блока», скажем лишь о том, что их использование позволяет получить некую конкретную конфигурацию исследуемой системы – «Вариант МТС». Вариант МТС содержит однозначное описание всех статических объектов МТС (типы судов, параметры портов и т.п.) и может быть далее исследован на основе ИМ. В случае использования «Оптимизационного блока» [2, 3] основные характеристики судов, входящих в текущий вариант МТС, будут удовлетворять некоему критерию оптимальности. Если оптимизация характеристик судов не выполняется, то на основе ИМ может быть исследована любая произвольная конфигурация МТС.

Динамическая ИМ, учитывающая логику движения и взаимодействия судов, является главным новшеством ПК «МТС-модель». В настоящее время логика ИМ в составе ПК «МТС-модель» позволяет моделировать линейные перевозки грузов различного типа по прямой

Возможности статической и динамической моделей применительно к описанию работы судов в ледовых условиях

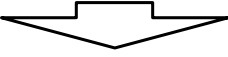
Параметр	Статическая модель	Динамическая модель
Учет логики движения и взаимодействия судов	Не учитывается	Учитывается полностью. Суда и ледоколы моделируются как самостоятельные объекты, движущиеся и взаимодействующие в геоинформационном пространстве под управлением виртуального «Оператора» (тактический и стратегический уровни планирования)
Учет факторов, зависящих от времени	Не учитываются или принимаются по средним значениям	Учитываются полностью. Например, график поставок груза, окна работы портов, смерзание ледового канала, обрастание корпуса и др.
		
Определение времени рейса в ледовых условиях	Дискретно (как правило, помесечно). Продолжительность рейса фиксирована в пределах заданного интервала (месяца)	На непрерывной основе (время рейса зависит от даты и сложившихся природных условий). Учитывается возможность ускорения-замедления судна, исходя из логических факторов
Описание движения транспортного судна на линии	Определяется «провозоспособность» на линии, к которой сводятся все технические параметры судна	Оптимизация графика поставок груза с учетом возможности движения судов с разными скоростями [2]
Моделирование ледокольной проводки	Ледоколы учитываются как «неограниченный ресурс» или ресурс с фиксированным временем ожидания	Ледоколы учитываются как самостоятельные объекты: задается их число, логика работы и география движения
Учет динамики наполнения береговых хранилищ	Не учитывается	Учитывается. Возможно решение задачи оптимизации требуемого объема хранилища



Рис.1 Принципиальная структура основных программных блоков и их связей ПК «МТС-модель»

и перевалочной схемам, однако существует принципиальная возможность описания логики работы морских систем иного типа, например, включающих буровые, рыболовные, исследовательские и другие суда. ИМ

реализована в среде имитационного моделирования AnyLogic®, и в ее составе можно выделить три наиболее важные сущности: логические блоки управления «Капитан» и «Оператор», а также комплекс динамических моделей условий функционирования транспортной системы.

Вначале обратимся к сложной проблеме планирования и управления движением МТС [4]. В соответствии с общепринятыми представлениями задача управления разделена на три уровня (рис. 3):

- стратегический (планирование основных параметров МТС в «Конструкторе сценариев»);
- среднесрочный (планирование движения судов в составе МТС блоком «Оператор»);
- краткосрочный (управление

работой конкретного экземпляра судна в конкретном рейсе в блоке «Капитан»).

Стратегическое планирование МТС в «Конструкторе сценариев» позволяет создать план поставок, план

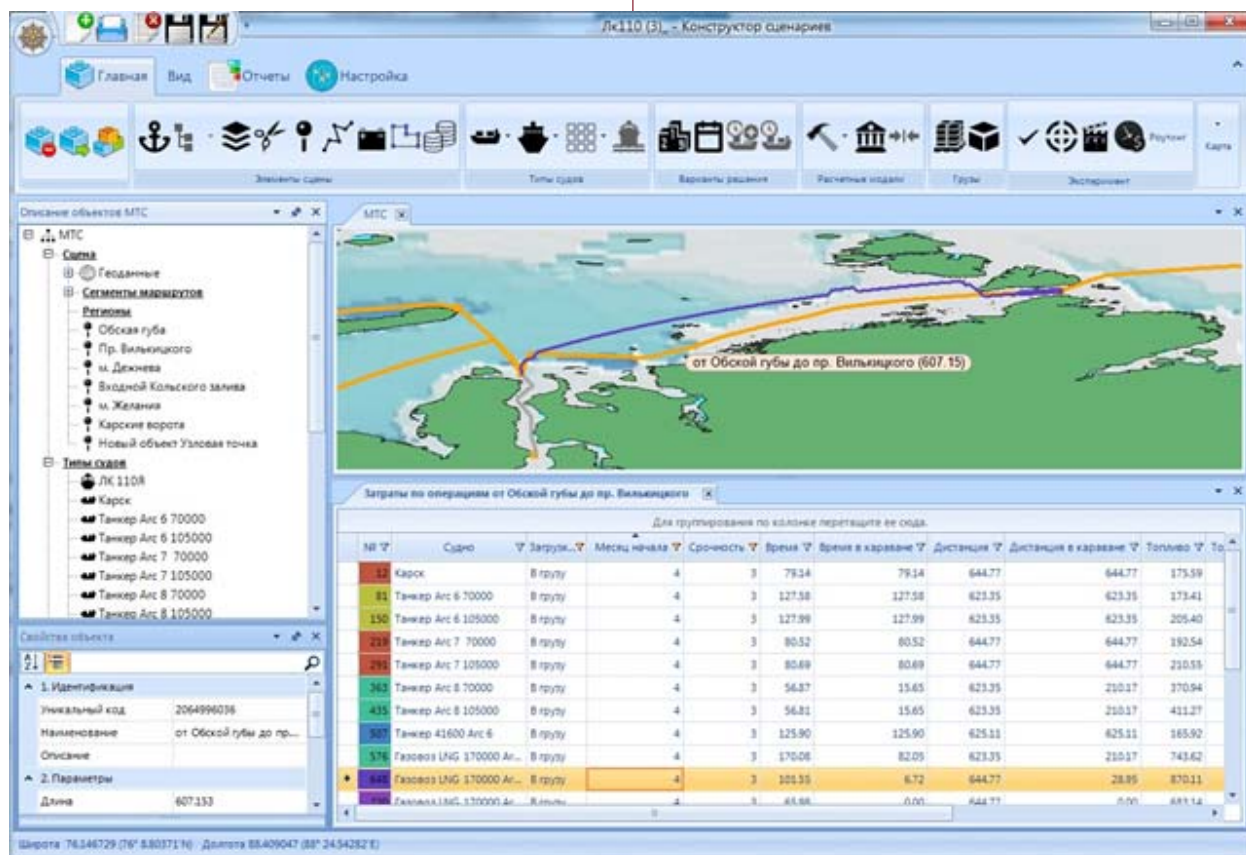


Рис. 2 Интерфейс модуля «Конструктор сценариев» ПК «МТС-модель» (открыты вкладки объектов МТС, их свойств, ГИС и результаты расчетов маршрутных затрат для участка маршрута от Обской губы до пр. Вилькицкого на основе технологии роутинга во льдах)



Рис.3 Принципиальная структура блоков управления работой МТС

докований, план ввода-вывода судов и другие статические сущности, которые дополняют «Вариант МТС» и являются основой для дальнейшего принятия управленческих решений. Следующие уровни управления по своей сути динамичны, поэтому реализованы в ИМ. Среднесрочное планирование, находящееся в ведении «Оператора» МТС, включает: обеспечение требуемого объема перевозок; соблюдение графика поставок; назначение конкретных транспортных судов из имеющихся в распоряжении с учетом их текущей загруженности на конкретные рейсы; управление ледокольным сопровождением судов, исходя из имеющихся ледоколов; отправка судов на докование; оперативное регулирование, направленное на разрешение возникающих инцидентов в масштабе целой системы (опоздания, нехватка судов и т.д.). Горизонт планирования данного уровня – от нескольких недель до нескольких месяцев. Работа «Оператора» базируется на технологии постоянного динамического перепланирования (аналог CRP - Capacity Requirements Planning).

Краткосрочный уровень планирования входит в сферу ответственности блока «Капитан» транспортного судна или ледокола в режиме выполнения им конкретного задания, полученного от блока «Оператор». Основной решаемой здесь задачей выступает определение требуемой скорости движения с учетом складывающейся метеорологической и ледовой обстановки и текущего статуса выполняемого задания (степень срочности и наличие резерва времени), а также требования минимизации сопутствующих расходов на

перемещение (расходы топлива, затраты на ледокольное сопровождение). В сфере ответственности «Капитана» находится также вызов ледокола и запрос бункеровки. Временной интервал прогнозов и последствий принимаемых решений, характерный для данного уровня, соответствует длительности рейса (несколько дней).

«Оператор» взаимодействует с «Капитаном» через обращения двух типов: задание и запрос (рис. 3). Выдавая «Капитану» конкретного судна задание на перевозку груза, перемещение или другое действие, «Оператор» регулярно получает информацию о статусе его выполнения. Суть запроса «Оператора» к «Капитану» состоит в том, что «Оператор» не нуждается в прямом доступе к параметрам ГИС, так как работает с интегральными оценками параметров рейсов и имеет представление только о принципиальной

топологии логистической сети. Поэтому «Оператор» может запросить у «Капитана» оценку требуемого времени и расходов топлива на выполнение какого-либо планируемого действия. Такую оценку «Капитан» производит, прокладывая маршрут до требуемой точки и вычисляя параметры движения с помощью «Механика». Взаимодействие «Капитана» и «Механика» сводится к запросам двух типов: запрос достижимой скорости хода и запрос расходов топлива для заданной скорости. Опираясь этими запросами, «Капитан» не только осуществляет прогноз параметров рейса, но и производит выбор скорости хода в процессе движения судна и выполняет тактическое маневрирование. В заключение описания концепции управления в системе «МТС-модель» отметим, что данная задача представляет собой отдельное направление исследований, характеризующееся высоким уровнем сложности, поэтому блоки «Оператор» и «Капитан» в настоящий момент продолжают активно развиваться в рамках решаемых практических задач.

Другим важным элементом ИМ в составе ПК «МТС-модель» является комплекс динамических моделей (ДМ) условий функционирования МТС. Принципиальным отличием концепции ДМ от концепции ГИС-пространства, параметры которого (ветер, волнение, лед и т.п.) также изменяются во времени, является то, что состояние объектов, описываемых с помощью ДМ, подвержено влиянию других объектов МТС. Типичными примерами ДМ

являются модель зарастания ледового канала в припае и модель испарения сжиженного природного газа в танках судна-газовоза. Например, на параметры ледового канала в припае оказывают влияние характеристики проходящего судна или каравана, общее число проходов судов по каналу, интервал времени до предыдущего прохода, температура воздуха и другие параметры, которые могут быть описаны только в рамках вычислительного эксперимента со всей ДМ. В зависимости от предметной области моделируемой задачи в ИМ ПК «МТС-модель» могут быть реализованы ДМ других типов, такие, например, как движение и изменение численности косяков рыб (задачи рыбопромыслового флота), параметры работы шлюзов на внутренних водных путях (задачи транспортных систем «река-море») и т.п. Иными словами, наличие в ИМ динамических моделей и логики работы МТС позволяет исследовать уникальные аспекты работы МТС, недоступные другим методам исследования систем работы флота.

5. ОПЫТ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

С помощью ПК «МТС-модель» в 2014 г. был выполнен ряд практических работ.

1. Создана модель работы мелкосидящих ледоколов пр. 22740 в Азово-Черноморском и Каспийском бассейнах (по заказу Федерального агентства морского и речного транспорта). В рамках работы выполнены расчеты времени рейса каравана под проводкой ледокола в средних и тяжелых ледовых условиях; определено требуемое число и расходы топлива ледоколов для перспективных грузопотоков; выполнено технико-экономическое сопоставление проектируемого ледокола с существующими проектами. По результатам расчетов были снижены исходные требования заказчика к автономности по топливу, уменьшен вес запасов топлива и улучшены эксплуатационные параметры ледокола.

2. Выполнена оценка характеристик МТС, обеспечивающей вывоз углеводородов Ванкорского региона (Карское море) в западном и восточном направлениях, включая круглогодичное движение по трассам СМП (по заказу ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть»). В рамках работы определены характеристики нефтяных танкеров, газовозов LNG и LPG с ледовым классом **Arc7** и **Arc8**, рассчитано время рейса судов из Карского моря до стран Европы и Азиатско-тихоокеанского региона в ледовых условиях различной степени тяжести.

3. Разработана ИМ движения крупнотоннажных танкеров из района мыса Каменный (Обская губа) до

порта Мурманск в условиях смерзающегося ледового канала в припае (по заказу ООО «Газпром нефть Новый Порт»). При этом:

- выполнена оценка необходимого числа ледовых каналов в припае и ориентировочных дат их прокладки;
- обоснована вместимость берегового резервуарного парка арктического терминала с учетом возможных задержек судов;
- определены объем и сроки необходимой ледокольной поддержки танкеров в тяжелых и экстремально тяжелых условиях;
- определены показатели работы МТС по временной схеме, когда основные танкеры еще не введены в строй, а перевозки осуществляются с помощью существующих судов малого дедвейта и слабого ледового класса;
- определены технико-экономические показатели всего жизненного цикла МТС.

В результате работы выявлено значительное влияние протяженного ледового канала на показатели МТС, что позволило сделать вывод о необходимости обеспечения максимально возможной регулярности перевозок, так как в этом случае параметры ледового канала оказываются наиболее благоприятными. Сформулированы условия, при которых возникает риск переполнения хранилища.

ВЫВОДЫ

Вопросам исследования МТС при проектировании судов в настоящее время не уделяется должного внимания: проектанты судов, как правило, сосредотачиваются на проектируемом судне, лишь предполагая его роль в работе транспортной системы в целом, а операторы флота, наоборот, сосредотачиваясь на управлении транспортной системой, не имеют возможности подробно проработать и оценить альтернативные варианты судов. Комплексный учет вопросов оптимизации использования судов и задач управления работой флота позволяет существенно повысить качество проектных работ и оценки эксплуатационных показателей МТС на ранних этапах ее проектирования.

Для решения этой задачи разработан ПК «МТС-модель», синтезирующий на базе объектно-ориентированного подхода такие предметные области, как ГИС, судостроительные дисциплины и динамические ИМ. При таком подходе исследуемая МТС представляется как набор самостоятельных объектов, движущихся и взаимодействующих в ГИС под управлением логических блоков динамической ИМ. Примеры выполненных работ подтверждают уникальные возможности такого подхода в

области проектирования и анализа МТС, позволяющего учитывать множество натуральных факторов работы судов, моделировать различные аспекты работы МТС, недоступные при других подходах, а также оптимизировать характеристики судов в составе МТС с учетом логики ее работы. Получаемые результаты исследования параметров МТС являются основой для принятия решений на всех стадиях – от разработки проектов судов и объектов береговой инфраструктуры до их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апполонов Е.М., Таровик О.В. Определение масс конструкций ледовых усиления транспортных судов на ранних стадиях проектирования // Судостроение. – 2014. – №5. – С. 20 – 26.
2. Таровик О.В., Косьмин М.С. Имитационное моделирование морских транспортных систем, работающих в ледовых условиях с соблюдением графика поставок // Судостроение. – 2014. – №1. – С. 9 – 14.
3. Пашин В.М. Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 296 с.
4. Бабурин В.А., Бабурин Н.В., Дмитриев В.И. Управление работой флота: учебник. – М.: Моркнига, 2013. – 368 с.

С.А. Киселев
канд. экон. наук,
ЗАО «МАСКО»



А.А. Петров
ЗАО «ЦНИИМФ»



ТЯГОВОЕ УСИЛИЕ КАК ОПТИМАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОГО ЧИСЛА БУКСИРОВ В ПОРТУ

За последние два десятилетия в мировом судостроении произошел ряд изменений, обусловленных техническим прогрессом, ужесточением требований к безопасности, а также экономическими и экологическими аспектами. Эти изменения затронули все объекты морской и речной инфраструктуры, в том числе буксирный флот. Совершенствование движительно-рулевого комплекса, использование более экономичных двигателей, увеличение степени автоматизации привело к значительному снижению потерь при обеспечении пропульсивности судна и, как следствие, увеличению тяги современных буксиров по сравнению с аналогами конца XX века. В связи с этим появилась необходимость использования в практике работы порта нормативов, которые адекватно отображали бы связь необходимого и предоставляемого числа буксиров для выполнения буксирно-швартовных операций.

В настоящее время в портах Российской Федерации число буксиров определяется в соответствии с Обязательными постановлениями, выпускаемыми Министерством транспорта РФ для каждого порта, в которых в зависимости от типа буксируемого объекта (БО), его дедвейта или длины регламентируются суммарная мощность и соответствующее количество буксиров. Указанные в этих постановлениях требования приведены из документа [1], первоначально разработанного в 1993 г. и практически не учитывают изменения основных технических и эксплуатационных возможностей портового флота. Между тем, мощность современного буксира не является объективным показателем его эффективности с точки зрения обеспечения потребностей БО в процессе буксирно-швартовных операций.

В зарубежной практике уже достаточно давно принято оценивать потребность в буксирах в зависимости от суммарного тягового усилия, необходимого для

буксировки судна. Это позволяет не только эффективно организовывать буксирную деятельность в порту, но и дает возможность конструкторским и проектным организациям, взаимодействуя с заказчиком, создавать как многофункциональные буксиры, так и специальные суда, предназначенные для выполнения конкретных задач. При этом буксиры одной и той же мощности могут обладать различными тяговыми характеристиками и, наоборот, – при одинаковой тяге, иметь разную мощность (табл.1).

Таблица 1
Сравнение мощностных и тяговых характеристик некоторых буксиров [2]

Модель буксира	Мощность N , кВт	Тяговое усилие F_{BP} , т
Stan Tug 3011	3730	70
ASD Tug 3010 ICE	3730	60
ASD Tug 2411	4200	70

Циркуляр ИМО [3], принимая во внимание важность организации буксирной деятельности в порту с целью обеспечения безопасности, оптимизации морского трафика и охраны окружающей среды, рекомендует администрациям портов и операторам в своих действиях руководствоваться материалами, приведенными в [4]. В этом руководстве рассматриваются основные аспекты использования буксиров в портах и, в том числе, приводится методика определения суммарного тягового усилия, необходимого для БО. В расчете тяги учитываются гидрометеорологические сведения, наиболее характерные для конкретного порта, включающие ветро-волновой режим и доминирующие течения в акватории буксирно-швартовных операций, а также общие данные о БО – тип судна, главные размерения, наличие подруливающих устройств и т.п. В общем случае, суммарное тяговое усилие F_{BP} , т, необходимое для выполнения буксирно-швартовных операций, оценивается по формуле

$$F_{BP} = \frac{F_w + F_c + F_{wave}}{1000}, \quad (1)$$

где F_w – тяговое усилие, кгс, необходимое для преодоления боковой ветровой нагрузки, определяется как

$$F_w = 0,08 \cdot V_w^2 \cdot A_L, \quad (2)$$

V_w – скорость бокового ветра, м/с,

A_L – продольная площадь парусности судна, м²,

F_c – тяговое усилие, кгс, необходимое для преодоления воздействия течения, рассчитывается как

$$F_c = k \cdot V_c^2 \cdot L_{BP} \cdot T, \quad (3)$$

k – коэффициент, учитывающий отношение осадки БО к вертикальному расстоянию от киля БО до дна акватории,

$$k = 40 - 180,$$

V_c – скорость течения,

L_{BP} – длина БО между перпендикулярами, м,

T – осадка БО, м;

F_{wave} – необходимое тяговое усилие, кгс, обусловленное волнением, определяется как

$$F_{wave} = 112 \cdot L \cdot H_s^2, \quad (4)$$

L – длина действующей ватерлинии, м,

H_s – значимая высота волны, м.

По результатам расчетов в соответствии с [4] для каждого конкретного порта могут быть составлены диаграммы, позволяющие достаточно быстро определять необходимое суммарное тяговое усилие для любого заходящего в порт судна в зависимости от его типа, дедвейта, длины. Принципиальный вид таких диаграмм применительно к танкерному флоту для ряда портов приведен на рис. 1 и 2, где F_{BP} – суммарное тяговое усилие; n – количество буксиров, шт.; DWT – дедвейт судна, т; L – длина судна между перпендикулярами, м.

Для примера приведем сравнительный анализ расчета необходимого числа буксиров, выполненный в настоящей работе с использованием алгоритмов [4] и нормативов, приведенных в [5], применительно к Мурманскому морскому торговому порту (ММТП). Гидрометеорологические и лоцманские характеристики ММТП приведены в табл. 2. Расчет произведен для четырех типов БО (табл. 3). Величина коэффициента k в формуле (3) принята согласно [4]

Таблица 2
Гидрометеорологические и лоцманские характеристики ММТП

Характеристика	Значение
Средняя скорость ветра V_w , м/с	7,00
Значимая высота волны H_s , м	0,50
Скорость течения V_c , м/с	0,61
Глубина акватории H , м	25,00

Таблица 3
Общие сведения о БО и расчет суммарного тягового усилия

Характеристика	Значение для типа судна			
	Bulk carrier	Container ship	General cargo ship	Ro-ro ship
Длина наибольшая L_{OA} , м	189,96	169,04	89,99	142,00
Длина между перпендикулярами L_{BP} , м	181,00	157,74	84,98	133,00
Ширина B , м	32,30	23,10	14,00	23,00
Осадка T , м	12,29	10,00	5,70	5,70
Высота борта D , м	17,30	14,20	7,15	8,50
Водоизмещение Δ , т	60902	29137	5906	7428
Дедвейт DWT , т	52050	18095	4530	5200
Продольная площадь парусности A_L , м ²	950	1700	480	870
Тяговое усилие на преодоление бокового ветра F_w , кгс	3724	6664	1882	3410
Тяговое усилие на преодоление течения F_c , кгс	91051	64565	19826	31030
Тяговое усилие на преодоление волнения F_{wave} , кгс	5068	4417	2379	3724
Суммарное тяговое усилие F_{BP} , т	100	76	24	38

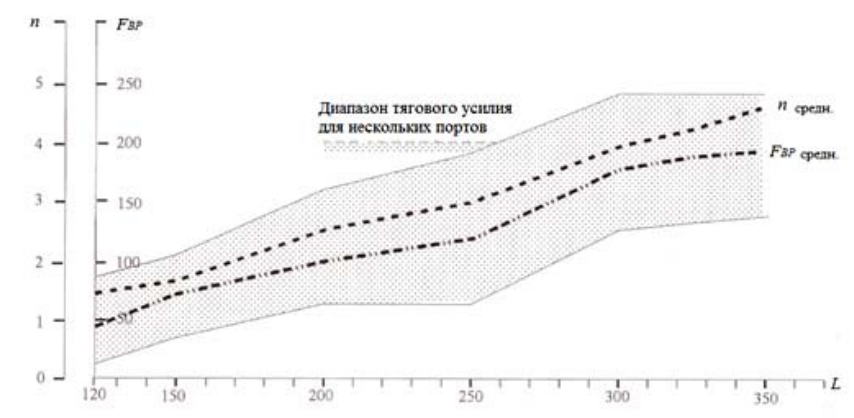


Рис. 1 Суммарное тяговое усилие и количество буксиров в зависимости от длины танкера

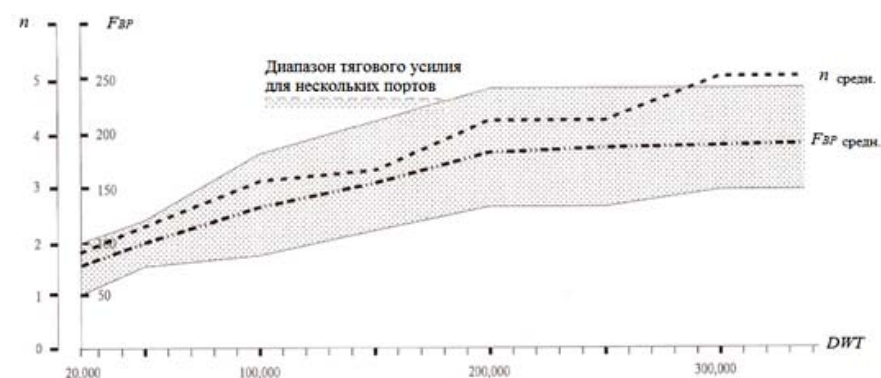


Рис. 2 Суммарное тяговое усилие и количество буксиров в зависимости от дедвейта танкера

равной 110. Результаты сравнительного анализа приведены в табл. 4.

Таблица 4
Сравнительный анализ требований [5]
и результатов расчета согласно [4]

Тип БО	Дедвейт БО, т	Требования [5], $n \times N$ (n — кол-во буксиров, шт., N — мощность буксира, кВт)	Суммарное тяговое усилие $F_{\Sigma P}$, т, согласно [4]	Возможное сочетание буксиров $n \times F_{BPI}$ (n — кол-во буксиров, шт., F_{BPI} — тяга на гаке i -го буксира, т)*
Bulk carrier	52050	$2 \times 2200 + 1 \times 880$	100	$1 \times 43 + 1 \times 62$
Container ship	18095	$2 \times 2200 + 2 \times 880$	76	$1 \times 43 + 1 \times 62$
General cargo ship	4530	2×440	24	1×30
Ro-ro ship	5200	2×440	38	1×43 или $1 \times 30 + 1 \times 22$

* Возможное сочетание буксиров приведено исходя из состава буксирного флота судоходной компании «МАСКО» — основной организации, предоставляющей услуги по буксировке судов в ММТП [6].

Из табл. 4 видно, что требования [5] предполагают, что администрации порта должна задействовать большее по сравнению с расчетной методикой [4] количество буксиров для проведения швартовных операций. При этом заведомо увеличиваются стоимость и трудоемкость операций, что не всегда гарантированно повышает надежность. Кроме того, отсутствие гибкой шкалы нормирования не дает возможность судоходным компаниям осуществлять мероприятия по оптимизации состава портового флота и, как следствие, может отрицательно повлиять на эффективность организации портовой деятельности.

ВЫВОДЫ

Выполненные в настоящей работе систематические расчеты суммарного тягового усилия, необходимого для буксировки различных типов БО, показали расхождение в потребном количестве буксиров, определенном в зависимости от требуемой суммарной мощности, либо — суммарной потребной тяги. В связи с этим представляется целесообразным в

дальнейшем более всесторонне исследовать вопрос о перспективах внедрения в практику администраций портов РФ определения потребного числа буксиров по суммарному тяговому усилию, а также оценки значимости роли мощностных характеристик буксирного флота при организации буксирно-швартовой деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по технологическому проектированию морских портов: РД 31.3.01.01-93. – СОЮЗМОРНИИПРОЕКТ. – М., 1993.

2. DAMEN SHIPYARDS GROUP. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.damen.com/>.

3. International Maritime Organization. IMO MSC/Circ.1101; MEPC/Circ.409; FAL/Circ.100. 8 September 2003.

4. Hensen H. Tug Use in Port – A Practical Guide, Second Edition. The Nautical Institute. – London, 2003.

5. Министерство транспорта Российской Федерации. Обязательные постановления в морском порту Мурманск. – М., 2014.

6. Малая Судоходная Компания, ЗАО. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.masco.ru/index.php>.

7. ГУ Навигации и океанографии Министерства Обороны Российской Федерации. Лоция Баренцева моря. Часть II. – СПб., 2006.

ОБОЗРЕНИЕ: СПбГМТУ – 85 ЛЕТ



Санкт-Петербургский государственный морской технический университет отмечает 85-летие с момента своего основания. История вуза началась на стыке XIX и XX веков: тогда в Политехническом институте был организован Кораблестроительный отдел, который должен был выпускать морских инженеров, подготовленных для постройки корпусов и механизмов судов.

В 1930 г. Кораблестроительный отдел был выведен из Политехнического института и развит в

самостоятельный Ленинградский кораблестроительный институт (ЛКИ), с переводом из Сосновки в ближайшее соседство с бывшим заводом имени Марти (ныне ОАО «Адмиралтейские верфи»). Количество студентов возросло до нескольких сотен человек.

В 1990 г. ЛКИ получил статус технического университета, в 1992 г. переименован в Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (СПбГМТУ).

В числе выпускников вуза – известные ученые, генеральные и главные конструкторы судов различных типов, надводных кораблей и подводных лодок, руководители научно-исследовательских, проектных организаций, предприятий и концернов.

Сегодня, благодаря усилиям и авторитету идейных вдохновителей

учебного заведения, поддержке государственных структур создаются новые условия для развития одного из самых старейших вузов города. Здесь осуществляется подготовка кадров по всему спектру специальностей и научных направлений, связанных с проектированием и постройкой судов и кораблей всех классов, судовых энергоустановок, различного судового оборудования, технических средств освоения Мирового океана, корабельного вооружения.

Университет также готовит специалистов в области экологической безопасности промышленных зон и акваторий, организации и экономики судостроительного производства. Установлены обширные международные контакты, постоянно осуществляется обмен опытом.



ПРОЧНОСТЬ СУДОВ И ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ

Е.В. Баскакова

ФАУ «Российский морской
регистр судоходства»



М.П. Кочегаров

ООО «Тихоокеанское
инженерное бюро»



МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСОВ МОРСКИХ СУДОВ

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг технического состояния корпусов морских судов в эксплуатации рассматривается как процесс сбора, регистрации, хранения и анализа информации о нем, а также оценки и прогнозирования технического состояния корпусных конструкций.

Правилами РС установлена система освидетельствований корпусов судов в эксплуатации с целью оценки технического состояния корпусных конструкций и необходимости выполнения ремонтов для сохранения целостности и непроницаемости конструкции корпуса судна.

Процесс освидетельствования корпусов судов РС можно разделить на шесть этапов:

1 этап - подготовка к освидетельствованию корпуса судна;

2 этап - освидетельствование конструкций, замеры толщин, деформаций и трещин;

3 этап - составление отчета о выполненных замерах, оценка технического состояния конструкций и общей продольной прочности корпуса (если требуется);

4 этап - согласование отчета с РС и заключение о техническом состоянии корпуса;

5 этап - выполнение ремонта корпусных конструкций под наблюдением РС, если он требуется по результатам оценки технического состояния;

6 этап - регистрация сведений о выполненных ремонтах в актах РС.

Как правило, в процессе освидетельствования участвуют представитель судовладельца, оператор компании, выполняющий замеры остаточных толщин (ЗОТ) и инспектор РС.

На первом этапе судовладелец разрабатывает ремонтную ведомость для заключения договора с судоремонтным предприятием/верфью. Этот документ необходим для судовладельца, но не является обязательным для РС. Ремонтная ведомость является предварительной, так как окончательный объем ремонта корпуса определяется только после согласования с инспектором РС отчета о замерах толщин.

Для судов с расширенной программой освидетельствования (ESP) судовладелец должен представить Программу ESP, чек-лист планирования освидетельствования и результаты инспекционной проверки корпуса судна.

Инспектор РС, представитель судовладельца и оператор, выполняющий ЗОТ, также должны

провести совместное совещание перед началом ЗОТ и/или перед началом любого этапа очередного и промежуточного освидетельствования. По результатам совещания должен быть оформлен протокол совещания с приложением, в котором приведен перечень конструкций и график ЗОТ.

Выполнение 2 – 4 этапов занимает примерно две – четыре недели в зависимости от размеров судна и его возраста. Для того, чтобы сократить сроки принятия решения о необходимости ремонта корпусных конструкций, РС допускает предоставление инспектору промежуточных отчетов.

При составлении отчета необходимо выполнить применимые требования нормативной базы РС по освидетельствованиям судов в эксплуатации [1] и [2], а также проверить соответствие результатов ЗОТ предыдущих и последующих освидетельствований. По результатам анализа этих требований необходимо выполнить примерно 28 проверок, при этом:

- количество точек замеров общего износа должно определяться в зависимости от построечной толщины и разброса значений замеренных толщин на элементе конструкции;
- в зависимости от интенсивности (площади распространения) язвенной коррозии листа должна быть откорректирована допускаемая остаточная толщина в язвинах;
- средняя остаточная толщина участка износа пятнами должна учитываться при определении средней остаточной толщины общего износа;
- осуществляется проверка необходимости корректировки нормативов допускаемых износов и остаточных деформаций в случае, если фактические среднегодовые износы элементов корпуса превышают среднегодовые износы правил постройки, а также если параметры деформаций в элементах прогрессируют;
- средняя остаточная толщина общего и местного износов в пределах погрешности измерительных приборов не должна превышать величины, полученной при замерах предыдущего освидетельствования;
- участки местного износа и деформаций, обнаруженные в предыдущем освидетельствовании, должны быть учтены при следующем освидетельствовании.

Из практики выполнения оценки технического состояния корпусов судов с классом РС можно сделать следующие выводы:

1. Оформление отчетов в установленной РС форме производится вручную с применением Excel-таблиц. Поскольку обработка результатов дефектации производится вручную, то подготовка отчета зачастую занимает больше времени, чем выполнение замеров толщин. В момент готовности окончательного отчета судно обычно уже покидает док, повторные измерения в случае каких-либо сомнений в качестве или объеме работ становятся невозможными.

2. База данных о техническом состоянии корпусов судов представляет собой библиотеку печатных и отсканированных отчетов, применение которых для анализа технического состояния корпуса судна требует много времени, что относится, например, к определению наиболее изношенных и конструктивно ослабленных поперечных сечений корпуса, местоположения участков с местным и язвенным износами, элементов конструкций с прогрессирующими износами и деформациями.

3. При расчетах вручную достаточно сложно проконтролировать выполнение всех требований правил РС.

4. Судно вынуждено простаивать в ожидании окончательного решения о техническом состоянии корпуса и объемах его ремонта.

Поэтому для совершенствования освидетельствования корпусов судов первоочередной задачей является автоматизация контроля выполнения требований РС при подготовке отчета о замерах толщин и оценке технического состояния конструкций.

1. СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

В отечественной и мировой практике разработка и внедрение автоматизированных систем мониторинга ведется в двух направлениях:

- применение дистанционно управляемых аппаратов (remotely operated vehicles - ROV) для замеров толщин корпусных конструкций;
- применение программных комплексов для оценки и прогнозирования технического состояния корпусных конструкций.

Правилами РС допускается использование дистанционных средств при освидетельствовании судов (по рекомендации МАКО № 42 "Guidelines for Use of Remote Survey Techniques"). Большинство классификационных обществ, входящих в МАКО, придерживаются мнения, что вопрос применения дистанционно управляемых средств для замеров толщин находится в компетенции каждого конкретного общества, учитывая положения данной рекомендации.

Заслуживает внимания применение ROV в рамках иностранного проекта "CAS – Condition Assessment of aging ships for real-time Structural maintenance decision" (Оценка состояния стареющих судов для принятия решения по обслуживанию конструкций в режиме реального времени). Для обследования наружной обшивки французской компанией был разработан специальный робот, который самостоятельно перемещается по обшивке и выполняет непрерывную ультразвуковую толщинометрию листов обшивки с выводением результатов замеров на монитор компью-

тера оператора. При этом данное устройство можно использовать для обследования наружной обшивки корпуса судна на плаву.

Тем не менее, ROV не находят широкого применения по сравнению с ручными переносными ультразвуковыми толщиномерами по следующим причинам:

- это самый дорогостоящий вид освидетельствования с большими временными затратами;
- замеры толщин выполняются только на обшивке и настилах конструкций, не имеющих на обследуемой поверхности набора и выступающих частей;
- для судов, находящихся на плаву, невозможно обеспечить длительное и точное удержание аппарата в одной точке для выполнения корректного замера толщины.

Зарубежные классификационные общества уже имеют в своем арсенале программные средства, позволяющие автоматизировать процесс составления отчетов по ЗОТ корпусных конструкций. Следует отметить, что уровень программ существенно различается.

Некоторые общества автоматизировали только сам процесс составления отчетов по замерам толщин без дополнительных функций. К таким программным средствам можно отнести программу ARGONAUT, разработанную Lloyd's Register (LR). Эта программа проста в применении и является, по сути, базой данных регистрации ЗОТ с выполнением несложной оценки и сравнения фактических замеров с допускаемыми, которые определяются по правилам LR. Формы представления результатов измерений и оценки соответствуют рекомендованным формам МАКО.

Особенностью программных комплексов (ПК), разработанных классификационными обществами Bureau Veritas (VERISTAR) и Germanischer Lloyd (PEGASUS), является применение электронных 3D-моделей корпусов судов.

Эти ПК имеют развитую базу данных, в которой хранятся замеренные толщины, наименование конструкций и элементов. Электронная модель может пополняться новыми данными замеров толщин с сохранением замеров предыдущих освидетельствований. Использование таких моделей позволило сократить время на подготовку окончательного отчета с заключением о состоянии корпусных конструкций, необходимости выполнения ремонта с визуализацией результатов измерений, представления конструкций с зонами со значительной коррозией или требующих ремонта.

Обычно 3D-модели, разрабатываемые на основе программного обеспечения AVEVA, FORAN и NUPAS-CADMATIC, применяются при проектировании судов и разработке технологической документации для постройки. Разработка 3D-модели судна является

дорогостоящим проектом и требует больших затрат времени. Поэтому создание 3D-модели только для регистрации замеров толщин корпусных конструкций нецелесообразно.

Кроме того, для 3D-модели требуется специальное программное обеспечение и большой объем памяти в несколько гигабайт. Для сравнения, сканированные чертежи корпусных конструкций занимают значительно меньший объем памяти (50 копий чертежей формата А4 – примерно 5 Мб). Для того, чтобы на 3D-модели показать точки замеров толщин, выполненных в предыдущих освидетельствованиях, необходимо применять трехмерную систему координат положения этих точек на модели, что также приводит к увеличению объема памяти.

Из отечественных разработок наибольший интерес представляют ПК DEFHULL [3] и SYSCHECK_CAS [4, 5].

База данных ПК DEFHULL имеет иерархический тип. Содержащаяся в ней информация о техническом состоянии корпусов судов позволяет выполнять:

- анализ состояния корпуса для получения класса РС;
- прогноз состояния конструкций во времени;
- экспертную оценку состояния корпуса при сокращении периода между освидетельствованиями, при снижении ледовой категории.

ПК DEFHULL имеет функции для визуализации состояния конструкций – скорости износа, показателей общего и местного износов.

На 2010 г. в базе данных ПК DEFHULL имелись результаты 690 дефектаций для 415 судов различных типов.

ПК SYSCHECK_CAS предназначен для формирования отчета о замерах толщин и оценки технического состояния корпусных конструкций судов. Используемые оригинальные методики геометрического и конструктивного моделирования корпусных конструкций позволяют создавать упрощенные 3D-модели корпуса. Замеры толщин вводятся на 3D-модель с автоматическим определением трехмерных координат положения точки замера. ПК SYSCHECK_CAS позволяет прогнозировать техническое состояние корпусных конструкций и обеспечивает визуализацию результатов оценки и прогнозирования.

Также можно отметить ПК RECON (ООО «Тихоокеанское инженерное бюро»), созданный в 2004 г. для судовладельцев и предназначенный для мониторинга технического состояния корпусов морских судов.

ПК RECON включает в себя:

- базу данных флота, в которой хранятся построены параметры конструкций и их элементов; данные замеров толщин, деформаций и трещин всех ранее выполненных освидетельствований; нормативы

допускаемых износов; результаты ремонта корпуса; замечания администрации порта и несоответствия требованиям системы управления безопасностью судна и компании судовладельца, касающиеся корпусных конструкций;

- пакет прикладных программ для судовладельца;
- программу для ввода результатов дефектации конкретного судна, оперативного контроля выполнения требований РС, подготовки и печати отчета в установленной РС форме.

Реляционная база данных представляет совокупность взаимосвязанных таблиц. Поскольку реляционные таблицы связаны друг с другом, то данные могут извлекаться одновременно из нескольких таблиц, что позволяет уменьшить объем базы данных и время поиска информации.

С помощью этого ПК можно определить:

- наиболее изношенные поперечные сечения корпуса судна по результатам замеров толщин палубы и днища;
- конструкции, которые имеют зоны со значительной коррозией, участки местного износа, деформации и трещины;
- конструкции, подлежащие ремонту.

При наличии в базе данных результатов замеров толщин предыдущих освидетельствований этот ПК позволяет определить:

- фактические скорости износа и прогнозирование остаточных толщин корпусных конструкций для определения ожидаемых объемов ремонта;
- конструкции, склонные к интенсивному износу;
- конструкции с прогрессирующими деформациями.

Также ПК позволяет определять ожидаемые объемы ремонта с разбивкой на элементы, ожидаемый общий износ которых:

- превышает допустимые величины (высокая вероятность ремонта);
- находится в допустимых пределах и составляет более 90 % от этих величин (средняя вероятность ремонта);
- находится в допустимых пределах и составляет более 75 % от этих величин (высокая вероятность появления зоны со значительной коррозией);
- находится в допустимых пределах и составляет более 65 % от этих величин (средняя вероятность появления зоны со значительной коррозией).

Важно отметить, что замеры толщин в ПК вводятся на соответствующие чертежи корпусных конструкций, хранящиеся в отдельном файле, и одновременно эти замеры автоматически вводятся в базу данных ПК для подготовки соответствующих отчетов.

2. КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА

Учитывая многообразие подходов к разработке программных средств, предлагается концепция создания ПК для автоматизированного мониторинга технического состояния корпусов судов.

Задачи, которые должны решаться ПК, можно распределить по степени важности следующим образом.

Главная задача – автоматизировать процесс ввода результатов замеров толщин, оценки технического состояния корпуса судна и составление отчета. Эта задача преследует две цели – обеспечить максимально полный контроль выполнения всех требований РС к техническому состоянию корпуса судна, а также сократить время на выполнение оценки технического состояния и составления отчета.

Остальные задачи, такие как прогнозирование технического состояния, анализ скоростей износа и повреждаемости конструкций и т.д., являются дополнительными и определяются потребностями судовладельца и РС.

Расширенный контроль всех требований РС можно представить двумя группами:

- первая группа - требования, указанные в [1] и [2];
- вторая группа - проверка соответствия результатов замеров при предыдущих и последующих освидетельствованиях.

Но для того, чтобы выполнить эти требования, необходимо иметь базу данных результатов дефектации всех предыдущих освидетельствований.

Таким образом, ПК должен состоять из четырех основных блоков:

- базы данных результатов дефектации и ремонта всех предыдущих освидетельствований;
- программы для ввода замеров толщин и оценки технического состояния корпуса судна (условно назовем ее Программа ЗОТ);
- программ контроля выполнения требований РС;
- пакета прикладных программ анализа и прогнозирования технического состояния корпусных конструкций.

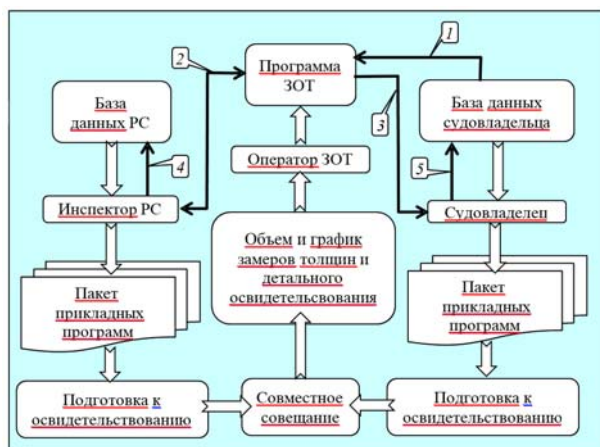
В настоящее время наибольшее распространение получили реляционные базы данных. Сетевые и иерархические базы данных считаются устаревшими, объектно-ориентированные пока никак не стандартизированы и не получили широкого распространения. Некоторое возрождение получили иерархические базы данных в связи с появлением и распространением расширяемого языка разметки XML (extensible markup language).

Принципиально не важно, какой должна быть база данных: иерархической (древовидной), сетевой,

реляционной или объектно-ориентированной. Главное, чтобы Программа ЗОТ была совместима с базой данных, потому что эта программа является основным поставщиком информации.

Программа ЗОТ должна иметь собственную базу данных и программные модули для ввода построечных параметров конструкций, сканированных чертежей этих конструкций, результатов дефектации корпуса и выполнения оценки технического состояния. Кроме этого, программные модули должны обеспечить контроль выполнения требований РС к замерам толщин и оценке технического состояния конструкций, а также подготовку отчета в установленной РС форме.

На рисунке показана функциональная схема ПК при совместной работе судовладельца, компании, производящей ЗОТ, и РС при освидетельствовании корпуса судна.



Функциональная схема ПК

При подготовке к предстоящему освидетельствованию судовладелец и инспектор РС на основе результатов дефектаций, хранящихся в базе данных, и с помощью пакета прикладных программ выполняют анализ состояния корпусных конструкций, определяют наиболее изношенные поперечные сечения.

Также определяются зоны со значительной коррозией, наличие участков с местным износом, сомнительные зоны, элементы с интенсивным износом и прогрессирующими деформациями. Для судов с ESP автоматически подготавливается Программа ESP.

На совместном совещании окончательно принимается решение и оформляется протокол с объемом и графиком выполнения замеров толщин и детального освидетельствования. При этом в Программе ЗОТ должна быть предусмотрена возможность внесения изменений в установленный объем и график замеров по результатам совещания.

Из базы данных РС или базы данных судовладельца в Программу ЗОТ вводятся построечные и

допускаемые параметры конструкций, а также сканированные чертежи (1 – см. рисунок).

Программа ЗОТ должна обеспечить ввод результатов замеров толщин, деформаций и трещин в базу данных с одновременным отображением на сканированных чертежах, выполнить оценку технического состояния, автоматически проверить выполнение всех применимых требований РС и подготовить отчет о замерах.

После этого файл программы ЗОТ должен быть передан на согласование инспектору РС (2). С помощью пакета прикладных программ инспектор РС проверяет выполнение требований, указанных в [1] и [2], а также выполненные замеры сравнивает с результатами предыдущих освидетельствований. Для исключения последующей корректировки информации после согласования отчета инспектором РС, в программе ЗОТ должна быть предусмотрена дополнительная функция автоматического перевода программы в режим просмотра. Согласованный РС файл программы ЗОТ и, если требуется, отчет в распечатанном виде передается оператору (2) и судовладельцу (3).

В ПК также должна быть предусмотрена возможность ввода сведений о фактически выполненных ремонтах, в том числе требуемых по результатам дефектации. Эта информация должна вводиться инспектором РС с указанием номеров и дат составления соответствующих актов, чек-листов. Файл с программой ЗОТ отправляют в базу данных РС (4) и судовладельцу (5).

При оформлении электронных документов может быть дополнительно предусмотрено применение цифровых подписей.

Таким образом, предлагаемая система мониторинга охватывает весь процесс освидетельствования корпуса судна, в котором принимают участие судовладелец, компания, выполняющая замеры толщин, и РС. Такая система мониторинга обеспечит контроль выполнения требований РС, подготовку и согласование всех необходимых документов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификационных освидетельствований судов в эксплуатации. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2014.
2. Инструкция по замерам остаточных толщин корпусов судов. НД № 2-040202-013. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2014.
3. Кулеш В.А., Суров О.Э., Житников А.В. Система DEFHULL – инновационная технология управления технической эксплуатацией флота // Вестник Дальневосточного государственного технического университета. – 2010. – № 3(5).

4. Разработка методов, алгоритмов и программного обеспечения Регистра по оценке и прогнозированию технического состояния корпуса судна на основе анализа и систематизации существующих электронных баз данных и унификации электронно-цифровой модели корпуса судна: отчет по теме № РС-4/2010-1-Н-288 / СПб ГМТУ. – 2010. – 142 с.

5. Тряскин В.Н., Хоанг Минь Шон. Структура модели данных в автоматизированных системах для оценки технического состояния корпуса судна // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2012. – № 1.

А.А. Добродеев

К.Е. Сазонов

д-р техн. наук

О.Я. Тимофеев

д-р техн. наук,

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»



ГЛОБАЛЬНАЯ ЛЕДОВАЯ НАГРУЗКА НА МОРСКИЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Глобальная ледовая нагрузка (ГЛН), действующая на морские ледостойкие инженерные сооружения (МЛИС) при их взаимодействии с различными ледяными образованиями, является одним из важнейших факторов, учет которого необходим при разработке проекта обустройства любого МЛИС, находящегося на замерзающей акватории. Проектирование МЛИС осуществляется таким образом, чтобы при действии принятой расчетной величины ГЛН сооружение не потеряло бы устойчивость на грунте. Поэтому уровень ГЛН существенным образом оказывает влияние на выбор конструктивного типа ледостойкой платформы. Это влияние сказывается при выборе геометрических характеристик района непосредственного взаимодействия платформы со льдом, а также геометрических форм придонного участка платформы (наличие оголовков свайного крепления, юбочные конструкции и т.п.). Вышесказанное объясняет повышенный интерес, который проявляют проектанты МЛИС к определению величины ГЛН.

В настоящее время существуют различные подходы к определению ГЛН. Целью данной работы является рассмотрение достоинств и недостатков существующих подходов. Рассматриваются следующие способы определения ГЛН:

- нормативный;
- расчетный;
- проведение модельного эксперимента в ледовом бассейне;
- вероятностное моделирование.

1. НОРМАТИВНЫЙ ПОДХОД

Этот подход базируется на использовании различных нормативных документов для расчета ГЛН. В настоящее время имеется большое количество нормативных документов, разработанных различными организациями и ведомствами. В некоторых научных трудах приведено сравнение результатов расчетов ГЛН на различные МЛИС по этим документам (например [1, 2]). При использовании нормативного подхода проектант гарантирован от ошибки в смысле занижения уровня ледовой нагрузки, действующей на сооружение. Это достигается благодаря традиционной консервативности любых нормативных документов. В такие документы обычно попадают проверенные практикой рекомендации.

Основным недостатком нормативного подхода является практическая невозможность его применения к реальным МЛИС. Дело в том, что нормативные документы, как правило, дают рекомендации об определении уровня ГЛН для конструкций, которые имеют достаточно простую геометрию: цилиндри-

ческие колонны и различные конусы. Так, в Правилах классификации, постройки и оборудования ПБУ и МСП Регистра [3] в основном рассматриваются подобные конструкции. Тем не менее, даже комбинация указанных простых элементов может быть достаточно сложна для определения ГЛН по нормативным документам, например, при взаимодействии цилиндрической опоры, снабженной конической наделкой, с торсистым образованием.

Здесь необходимо сказать несколько слов о широко применяемом ныне стандарте ISO 19906 с требованиями и руководствами для арктических морских сооружений [4]. К сожалению, в этом документе, содержащем большое количество разнообразной информации, крайне сложно оперативно найти нужный раздел. Не оговаривается и необходимость применения содержащихся рекомендаций. В итоге этот документ походит на некое справочное пособие, а не на стандарт.

В нормативных руководствах (например [3]) часто упоминается возможность расчетного определения уровня ГЛН с использованием специальных расчетных программ, одобренных нормативным органом. Поэтому представляется важным рассмотреть возможности применения расчетных методов.

2. РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ

Потенциально любой разработчик проекта обустройства того или иного МЛИС, находящегося на замерзающей акватории, может заказать разработку математической модели взаимодействия проектируемого сооружения со льдом. В реальности такого не происходит. Основной причиной является отсутствие общепринятых теоретических построений для описания льда, дрейфующего ледяного покрова, характера взаимодействия морского сооружения со льдом. На рис.1, заимствованном из работы [5], рассмотрены теоретически возможные схемы взаимодействия инженерного

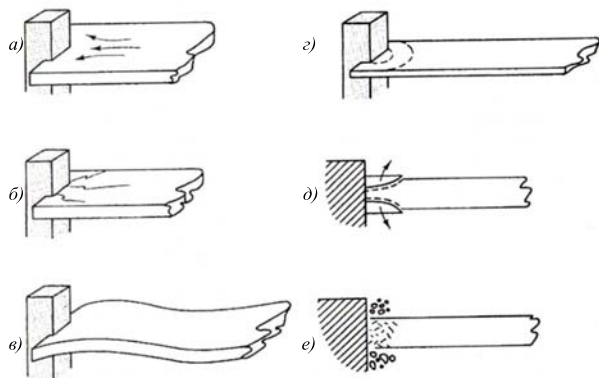


Рис. 1 Типы разрушений, возможные при взаимодействии МЛИС со льдом:

а – ползушка; б – радиальные трещины; в – потеря устойчивости; г – кольцевые трещины; д – расслаивание; е – дробление

сооружения, обладающего вертикальными бортами, со льдом. Выбор в расчетной модели любой из этих схем практически однозначно определяет результат расчета, т.е. уровень ГЛН. Этим такой расчет существенно отличается от гидромеханического, например, от расчета воздействия волн на морское инженерное сооружение. В последнем математическая модель волнения хорошо известна (линейные или нелинейные уравнения гидродинамики), и основная задача расчетчика заключается в как можно более точном задании геометрии сооружения.

Поэтому при проведении теоретических расчетов используют уже апробированные расчетные методы, но они, к сожалению, хорошо описывают лишь инженерные сооружения с простой геометрией. Обычно эти методы уже описаны в нормативных документах, поэтому очень часто расчетный и нормативный подход совпадают. Исключение составляют исследовательские центры, в которых разработаны собственные оригинальные математические модели.

3. ПРОВЕДЕНИЕ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ЛЕДОВОМ БАССЕЙНЕ (МЕТОД ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

На настоящий момент это единственный метод получения информации о ГЛН на любые МЛИС. Этот метод заключается в буксировке модели МЛИС через моделированный ледяной покров (рис. 2). При выполнении буксировки измеряются проекции главного вектора силы и главного момента, действующих на модель. Для воспроизведения адекватной картины разрушения ледяного покрова в соответствии с теорией моделирования его прочность и толщина уменьшаются в λ раз, где λ – масштаб модели инженерного сооружения. Помимо силового воздействия на модель в ходе выполнения модельного эксперимента можно определить геометрические характеристики ледяных



Рис. 2 Буксировка модели МЛИС в ледовом опытном бассейне ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

нагромождений (надводные и подводные), которые часто формируются у борта модели МЛИС и во многом определяют величину ГЛН.

Как уже отмечалось, только модельный эксперимент может дать информацию об уровне ГЛН на МЛИС. В модельном эксперименте осуществляется непосредственное измерение этой нагрузки. К большому сожалению, выполнить такие же измерения в натурных условиях невозможно. Любые датчики, вмонтированные в корпус стационарного ледостойкого сооружения, могут регистрировать только ледовую нагрузку, действующую на чувствительный элемент датчика. Распространение же полученных данных на все сооружение для определения ГЛН является некорректной операцией, которую можно выполнить бесконечным количеством способов и, соответственно, получить бесконечное число различных результатов.

Проведение модельного эксперимента, помимо получения информации об уровне ГЛН на МЛИС, является незаменимым звеном в разработке математических моделей изучаемых явлений. Эксперимент позволяет понять физику изучаемых явлений, что делает возможным исключить произвол в выборе физической модели явления, который, к сожалению, не редко присутствует при разработке математических моделей, особенно специалистами, не имеющими большого опыта натурных или модельных ледовых испытаний. Так, например, из всех возможных вариантов взаимодействия МЛИС со льдом (рис.1) в ледовом бассейне всегда реализуются только два из них: расслаивание и дробление. Для реализации, например, разрушения ледяного покрова путем потери им устойчивости (баклинг) необходимо создавать в ледовом бассейне специальные условия, которые не реализуются в натурных условиях; если же данные процессы реализуются в натурных условиях, то возникающая при этом ледовая нагрузка далека от критической. Данные модельного эксперимента также необходимы для верификации разработанных математических моделей взаимодействия сооружений со льдом.

Метод модельного эксперимента имеет и целый ряд недостатков. Самым главным из них следует считать высокую стоимость эксперимента и достаточно большую его длительность, которая включает в себя изготовление модели МЛИС. Из высокой стоимости эксперимента вытекает еще один его существенный недостаток. Очевидно, что воздействие ледяного покрова на МЛИС является случайной функцией времени. В ходе проведения эксперимента мы получаем только одну реализацию этой функции. Стационарность и эргодичность этой функции ни кем никогда не были доказаны. Мы можем только их предполагать. В ходе проведения экспериментов мы по единственной реализации определяем величину ледовой нагрузки. К подобной процедуре невозможно применить

статистические методы обработки экспериментальных данных. Из этого следует, что результат, полученный в ледовом бассейне, нельзя рассматривать как некоторую «абсолютную истину». Нельзя требовать, чтобы этот результат в точности повторился в следующих аналогичных испытаниях в этом или другом ледовом бассейне. Совпадение результатов может быть только приблизительное.

Еще одним следствием высокой стоимости испытаний в ледовом бассейне является практическая невозможность исследования особенностей работы МЛИС во льдах во всех или в большинстве возможных эксплуатационных условий. Обычно для проведения модельных испытаний заказчик выбирает наиболее тяжелые ледовые условия с тем, чтобы получить оценку максимальных величин ГЛН. При таком подходе часто выбираются условия, которые с очень малой вероятностью могут реализовываться в природе. Например, для оценки максимальных усилий от воздействия на ледостойкую платформу торосистого образования для моделирования в ледовом бассейне выбирают торос с килем, парусом и консолидированным слоем, соответствующими 100-летнему периоду повторяемости каждой из характеристик по отдельности, хотя подобные сочетания в натурных условиях не случаются. Можно с полной уверенностью сказать, что подобные испытания приводят к завышению уровня ГЛН, который регистрируется в ходе проведения эксперимента.

Необходимо сказать несколько слов о соотношении модельного и численного экспериментов в морской ледотехнике. Более десяти лет тому назад один из авторов данной работы совместно с коллегами опубликовал статью [6], в которой оценивалась роль численного эксперимента в теории корабля, в том числе и в морской ледотехнике, и рассматривались, каким образом соотносятся модельный и численный эксперименты. По нашему мнению, в этой работе удалось показать, что эра безграничного господства модельного эксперимента заканчивается. Снижение роли модельного эксперимента обусловлено целым рядом объективных причин, среди которых важнейшими являются усложнение задач, требующих решения, и развитие вычислительной техники. Бурное развитие вычислительной техники и пакетов прикладных специализированных программ открывает возможность выполнения численного эксперимента для тех условий, в которых модельный эксперимент невозможен или крайне затруднен. Поэтому в [6] был сделан вывод о том, что на современном этапе развития теории корабля модельный и численный эксперимент должны использоваться совместно при решении сложных задач.

За прошедшее время ситуация сильно изменилась. Необходимо констатировать, что доступ специалистов, интересующихся решением той или иной задачи, к средствам проведения численного эксперимента

существенно проще, чем к эксперименту модельному. Кроме этого, часто стоимость численного эксперимента оказывается ниже, чем у модельного. Поэтому в последние годы наблюдается опасная тенденция тотальной замены модельного эксперимента численным. В данном случае речь не идет, как в [6], о равноправном партнерстве двух методов исследования, которые дополняют и обогащают друг друга. Многие современные исследователи, а также некоторые руководители проектных организаций искренне считают, что с помощью численных технологий они смогут получить любую необходимую для выполнения исследований или проекта информацию. Причем правильность полученных данных, по их мнению, гарантируется использованием общепринятого в мировой практике или сертифицированного программного продукта. В настоящее время уже реализуются проекты довольно большой серии судов, при проектировании которых вообще не проводились модельные исследования. Возникшая ситуация очень ярко проявляется в замечании на отчет о результатах модельных испытаний перспективного технического средства для освоения шельфовых сооружений, сформулированном сотрудником одной из контролирующих организаций. По мнению этого сотрудника «...нагрузка должна определяться с помощью сертифицированной ... программы. Модельные испытания служат лишь для сведения».

С таким подходом нельзя согласиться даже при решении задач классической гидромеханики и теории упругости, для которых однозначно определена система описывающих явление дифференциальных уравнений. В морской же ледотехнике, для которой такие уравнения еще не созданы, каждый разработчик программного продукта создает свой алгоритм разрушения льда, основываясь на отнюдь неочевидных гипотезах. Поэтому принимать проектные решения и делать заключение о безопасности эксплуатации объекта только на основании численных экспериментов крайне рискованно. Для эффективного использования численного эксперимента необходимо его всестороннее тестирование по результатам модельного эксперимента, и только после этого можно проводить расчеты для тех условий, в которых модельный эксперимент не выполним. По нашему мнению, только совместное использование физического и модельного эксперимента позволит в дальнейшем решать сложные технические задачи, связанные с освоением Арктики.

4. ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Это относительно новое направление среди методов определения ГЛН, которое активно развивается в настоящее время. Как указывают приверженцы этого

направления, вероятностное моделирование позволяет рассчитать реальные ледовые нагрузки. При таком расчете описанная выше ситуация с проведением модельных испытаний в «супер» торосе не может реализоваться, так как вероятность появления такого тороса будет мала.

В основу вероятностного подхода положен широко известный метод Монте-Карло, который позволяет разыграть нужное количество событий с тем, чтобы получить «расчет» глобальной ледовой нагрузки «в прямую» для заданного уровня ее повторяемости (один раз в 5, 10, 100 и более лет). Многими подобный расчет воспринимается как более точное определение ГЛН, чем результаты модельных испытаний в ледовом бассейне.

Рассмотрим, может ли соответствовать это утверждение действительности. Для реализации метода Монте-Карло при определении ГЛН необходимо выполнение следующих условий:

- наличие данных о законах распределения случайных величин, характеризующих геометрические (толщина, размер льдин, глубина киля тороса и другие свойства) и физико-механические (прочность при различных видах деформации, модуль Юнга, коэффициент Пуассона) свойства ледяного покрова в пределах относительно небольшой акватории, на которой располагается морское месторождение. Кроме этого необходимо иметь данные о корреляции между различными случайными величинами. Например, с очень большой степенью вероятности можно утверждать, что существует корреляция между толщиной ледяного покрова и его прочностными свойствами. Кстати, авторам не известна ни одна вероятностная модель, которая бы учитывала наличие корреляционных связей;

- наличие не вызывающих сомнения детерминированных математических моделей, с помощью которых можно рассчитать ГЛН на МЛИС при его взаимодействии с тем или иным ледяным образованием. Очевидно, что детерминированная математическая модель должна допускать возможность задания всех геометрических особенностей реального морского сооружения и учитывать влияние этих особенностей на уровень ледовой нагрузки.

В российской практике принято, что для изучения гидрометеорологической, включая ледовую, ситуации в месте расположения морского месторождения необходим 5-летний цикл наблюдений. Для исследования ледовых характеристик проводится пять экспедиций, которые осуществляются в момент наибольшего развития ледяного покрова. Данные, полученные в течение всего этого времени, обрабатываются, после чего могут быть получены законы распределения изучаемых характеристик. Корреляционные связи обычно не изучаются. Анализ полученных данных показывает, что статистические характеристики ледяно-

го покрова могут существенно отличаться для различных участков моря, даже расположенных близко друг от друга.

Следует обратить внимание, что 5-летние данные можно использовать в вероятностных расчетах с большой осторожностью. Эти данные достаточно хорошо описывают состояние ледяного покрова только в период его максимального развития. Для других периодов этими данными без соответствующей проверки пользоваться нельзя. Из всего этого можно сделать вывод, что обычно для проведения вероятностных расчетов не имеется исходных данных необходимого количества и качества. Поэтому при выполнении вероятностных расчетов этот недостаток восполняют экстраполяцией имеющихся данных в те области, для которых данные отсутствуют. Эта операция естественно не повышает ни точность, ни достоверность расчетов.

Еще одним слабым местом вероятностных расчетов является использование детерминированных моделей. Выше уже указывалось, что в настоящее время практически нет общепринятых методов расчета ледовых воздействий на МЛИС. Часто для одной и той же цели могут быть использованы различные по структуре расчетные формулы, причем эти формулы при детерминированных расчетах могут давать близкие результаты. Вероятностные расчеты по этим формулам могут различаться очень существенно. Поэтому при одних и тех же исходных данных результат вероятностного моделирования и, следовательно, полученные на его основе выводы могут быть совершенно различными при использовании разных формул.

Сказанное не следует понимать, что авторы являются категорическими противниками применения вероятностных методов. Мы считаем, что применение вероятностных методов дает возможность получить важную для проектанта информацию и что их необходимо использовать. Мы лишь выступаем против наблюдаемой у некоторых исследователей и проектантов абсолютизации результатов вероятностных расчетов и указываем, что в настоящее время эти расчеты объективно содержат большую погрешность, наличие которой необходимо учитывать при анализе их результатов.

ВЫВОДЫ

При определении уровня ГЛН на МЛИС должны использоваться все из перечисленных методов.

Нормативный подход и расчетные методы необходимо использовать на первых стадиях проектирования МЛИС для предварительной оценки уровня ГЛН с целью отсева наиболее неудачных вариантов обустройства морского месторождения. Дальнейший выбор между конкурирующими вариантами может быть осуществлен только при проведении испытаний в ледовом бассейне.

После выбора окончательного варианта платформы с ней необходимо провести дополнительный цикл испытаний для получения данных с целью ее детального проектирования. На этой же стадии целесообразно выполнение вероятностного моделирования работы во льдах ледостойкой платформы. Совместный анализ модельных данных и данных вероятностного моделирования позволит обоснованно назначить расчетную величину ГЛН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Ю.Н. [и др.] Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 360 с.
2. Карулин Е.Б., Карулина М.М. Сопоставительный анализ уровней ледовых нагрузок на морские ледостойкие платформы, определенных в соответствии с отечественными и зарубежными нормативными документами/Научно-практическое совещание: «Гидрометеорологическое обеспечение хозяйственной деятельности в Арктике и замерзающих морях», ГНЦ РФ ААНИИ, 2002. – С. 285–293.
3. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2014.
4. ISO 19906. Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения арктического шельфа. – М.: Стандартиформ, 2011.
5. Loset S., Shkhinek K.N. et al, «Actions from ice on Arctic offshore and coastal structures», «LAN», St.-Petersburg, 2006. – 272 pp.
6. Лобачев М.П., Сазонов К.Е., Чичерин И.А. Модельный и численный эксперимент в теории корабля / Проблемы масштабного эффекта в экспериментальной гидродинамике: сб. статей к 100-летию со дня рождения Ю.В. Кривцова. – СПб., ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2001. – С. 33 – 45.



МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СУДОВ

М.А. Кутейников
д-р техн. наук, проф.,
ФАУ «Российский морской
регистр судоходства»



В.В. Ярисов
канд. техн. наук,
БФУ им. И.Канта,
г. Калининград



ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КОРРЕКТИРОВКЕ ТРЕБОВАНИЙ РЕГИСТРА К ОЦЕНКЕ ОСТОЙЧИВОСТИ КРУПНОТОННАЖНЫХ ПАРУСНО-МОТОРНЫХ СУДОВ

1. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ПАРУСНОЕ СУДНО

Потеря остойчивости – это достаточно сложный физический процесс, трудно поддающийся строгому математическому описанию. Особенность этого процесса – кратковременность его протекания и нестационарность. Потерю остойчивости, то есть опрокидывание, можно рассматривать как потерю устойчивости одного из видов движения, а именно крена при действии приложенных к судну внешних сил. Такой внешней силой является ветровая нагрузка.

Обычно ветер не дует постоянно с одинаковой силой. При устойчивом ветре мгновенная скорость его пульсирует около своего среднего значения, отклоняясь на 20 – 40%. Продолжительность пульсаций мала (до 2 – 3 с), и в силу своей инерции судно не успевает на них отреагировать, то есть накрениться. Поэтому действие устойчивого ветра носит скорее статический характер, и сила давления ветра на судно определяется средней скоростью ветра.

По-другому ведет себя судно под действием шквалистого ветра. Шквал представляет собой порыв ветра, продолжительность которого сравнительно велика. Под действием шкала судно испытывает скорее динамическое накре-

нение. В этом случае сила давления ветра определяется скоростью в порыве.

Скорость ветра существенно зависит от высоты над поверхностью моря, так как движение воздуха затормаживается из-за трения о воду. Обычно в расчетах остойчивости за характерную принимают скорость на высоте 6 м над поверхностью моря.

Сила, с которой ветер действует на парусное судно, зависит от множества факторов, таких как:

- скорость и курсовой угол вымпельного ветра;
- количество парусов, их площади, типы,

возвышения центров парусности над ватерлинией, степень растравленности (пузатости), а также их взаимного влияния;

- размер и форма надводной части судна, рангоута и такелажа.

Вымпельным называется ветер $\vec{W}_R$, который образуется в результате совместного действия истинного ветра $\vec{W}_A$ и скорости движения судна $\vec{V}$, и равный их векторной сумме (рис.1):

$$\vec{W}_R = \vec{V} + \vec{W}_A.$$

С точки зрения тяги можно выделить три основных типа парусов:

- прямоугольные паруса (основные паруса учебных барков) и паруса с большой выпуклостью – «пузатостью» (спинакеры яхт), предна-

значенные для попутного ветра и других достаточно полных курсов;

- косые паруса (бермудского или гафельного типа), работающие как единое целое с мачтой по передней кромке (шкаторине) и с гиком по нижней шкаторине (бизани учебных барков, основные паруса шхун, гроты яхт);

- свободно работающие косые паруса типа стакселей и кливеров.

Выделенные типы различаются эффективным удлинением, коэффициентами тяги и сопротивления, а главное – лавировочными характеристиками.

При действии ветра на корпус судна под определенным курсовым углом корпус представляется крылом малого удлинения, и на нем возникают нормальная и тангенциальная силы. Однако при возникновении крена положение значительно усложняется. На подветренных поверхностях образуются разряжения и возникают дополнительные «подсасывающие» силы.

Кренящий момент образуется принципиально по-разному в зависимости от того, дует ли ветер с постоянной силой или налетел шквал.

Если на судно налетает шквал, то можно считать, что сила P прикладывается практически мгновенно, динамически. Однако она не успевает сдвинуть судно поступательно вследствие его большой инертности. В первый момент силе давления ветра сопротивляется сила инерции судна (вместе с присоединенной инерцией жидкости). Эта сила инерции F проходит через общий центр масс судна и присоединенной жидкости. Обычно для упрощения расчетов считают, что она проходит через центр тяжести (ЦТ) судна. Вместе с силой P (которая для упрощения расчетов также принимается горизонтальной) она образует пару сил с плечом $l_{кр}$ и создает динамический кренящий момент

$$M_W = P_W l_{кр}.$$

Если действует ветер постоянной силы, то механизм образования кренящего момента будет иной. Под действием силы P судно начинает дрейфовать. При этом появляется сила сопротивления дрейфу Q . По мере увеличения скорости дрейфа сила Q будет возрастать до тех пор, пока не станет равной силе P . В дальнейшем скорость дрейфа будет оставаться постоянной, а движение установившимся. Эти две силы и образуют пару сил, создающих кренящий момент. [1,3–10]

На самом деле сила Q , как и сила P , не будет горизонтальной. У нее будет и вертикальная составляющая. При обтекании подводной части корпуса также образуются завихрения, и давления по поверхности обшивки распределяются так, что результирующая этих давлений идет под некоторым углом к горизонту.

Таким образом, если на судно действует постоянный ветер и оно дрейфует с постоянной скоростью, то появляются силы P и Q . Следует заметить, что величина этих сил зависит не только от скорости ветра и скорости дрейфа, но и от угла крена судна.

В настоящее время нет надежных данных для определения вертикальной составляющей силы давления ветра для любого судна. Поэтому мы вынуждены пользоваться допущением, что силы P и Q горизонтальны и проходят через центры парусности. Также отличительной особенностью парусных судов является то, что при постановке парусов эти суда практически не испытывают бортовой качки и при расчетах необходимо учитывать вертикальную и килевую качку.

В качестве расчетного случая рассматривается швартовный режим. В этом случае вымпельная

Схема распределения скоростей

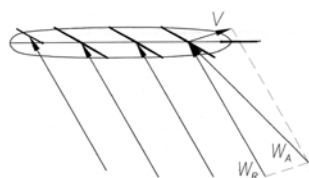


Схема возникновения аэродинамических сил на корпусе

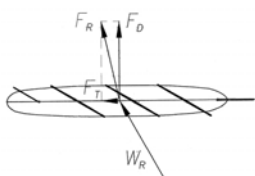


Схема распределения результирующей силы

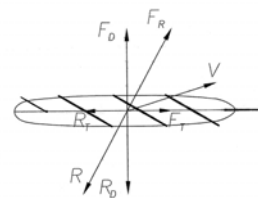
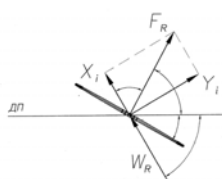


Схема возникновения аэродинамических сил на парусе



Разложение равнодействующей силы на силу тяги и боковую силу

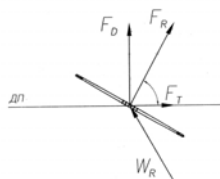


Рис. 1 Схемы сил, действующих на парусное судно

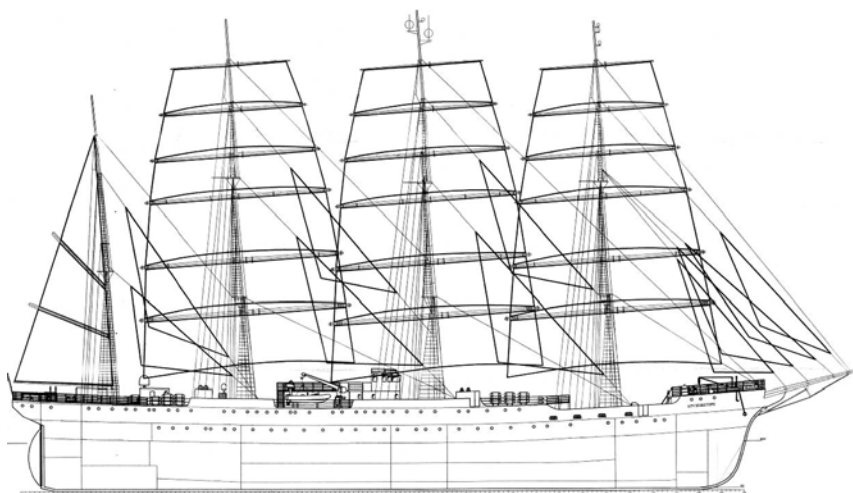


Рис. 2 УПС «Крузенштерн» в случае несения парусного вооружения

Таблица 1

Площадь парусности УПС «Крузенштерн»

Прямые паруса

Характеристики паруса	Фок	Нижний фор-марсель	Верхний фор-марсель	Нижний фор-брамсель	Верхний фор-брамсель	Фор-бом-брамсель
$S, \text{ м}^2$	265,8	155	163,1	91,8	104	80,6
$x, \text{ м}$	29,62	29,11	28,64	28,29	28,01	27,79
$z, \text{ м}$	13,56	21,09	28,62	35,6	41,32	47,2

Характеристики паруса	Первый-грот	Нижний марсель I грота	Верхний марсель I грота	Нижний брамсель I грота	Верхний брамсель I грота	Грот-бом-брамсель I грота
$S, \text{ м}^2$	296,9	155	163,1	91,8	104	104
$x, \text{ м}$	5,44	5,25	4,88	4,51	4,2	4,2
$z, \text{ м}$	13,07	20,69	28,24	35,39	41,34	41,34

Характеристики паруса	Второй грот	Нижний марсель II грота	Верхний марсель II грота	Нижний брамсель II грота	Верхний брамсель II грота	Грот-бом-брамсель II грота
$S, \text{ м}^2$	300,6	155	163,1	91,8	104	80,6
$x, \text{ м}$	-20,1	-20,38	-20,85	-21,26	-21,55	-21,89
$z, \text{ м}$	13,63	21,15	28,76	35,65	41,4	47,39

Гафельные паруса

Характеристики паруса	Нижняя бизань	Верхняя бизань	Бизань-гаф-топсель
$S, \text{ м}^2$	79,5	44,1	64,2
$x, \text{ м}$	-44,64	-43,21	-41,6
$z, \text{ м}$	11,9	20,03	29,68

Косые свободно работающие паруса

Характеристики паруса	Бом-кливер	Мидель-кливер	Кливер	Фор-стень-стаксель	Грот-стень-стаксель I грота
$S, \text{ м}^2$	75	67	71,4	55,1	125
$x, \text{ м}$	51,03	48,25	45,62	44,38	17,85
$z, \text{ м}$	18,19	16,95	15,74	14,07	15,82

Характеристики паруса	Грот-брам-стаксель I грота	Грот-стень-стаксель II грота	Грот-брам-стаксель II грота	Апсель	Крюйс-стень-стаксель
$S, \text{ м}^2$	78,1	125	78,1	96,4	65,3
$x, \text{ м}$	18,25	-6,18	-7,81	-30,68	-30,68
$z, \text{ м}$	26,65	16,14	26,08	13,4	19,43

скорость ветра равна его истинной скорости, то есть для случая максимального поворота реев. На учебном парусном судне (УПС) «Крузенштерн» максимальный угол поворота реев составляет 60° . Парусное вооружение судна представлено на рис. 2, площади парусов приведены в табл. 1.

На практике этот случай применим, когда судно находилось в состоянии покоя, и на него налетел внезапный шквал, либо при развороте судна лагом к волне, либо при неумелом управлении судном, когда судно может зайти под ветер другой стороной.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Из опыта эксплуатации известно, что паруса всегда выставляются по биссектрисе угла, образуемого диаметральной плоскостью (ДП) судна и направлением вымпельного ветра:

$$\omega = \frac{1}{2} \varphi.$$

На крупнотоннажных парусно-моторных судах максимальный угол поворота реев составляет около 60° . С учетом этого выбирались углы атаки.

Для определения аэродинамических коэффициентов тангенциальной и нормальной сил, возникающих на парусе, воспользуемся результатами проведенного в Нижегородском государственном техническом университете (2014 г.) физического моделирования модели УПС «Крузенштерн» в аэродинамической трубе (рис. 3), см. табл. 2, а также [6].

Продолжение табл.1
Суммарные площади

Характеристики паруса	Прямые паруса	Гафельные паруса	Косые свободно работающие паруса	Корпус с надстройками	Рангоут и такелаж
$S, \text{ м}^2$	2646,80	187,80	836,40	581,00	180,00
$x, \text{ м}$	4,02	-43,26	12,05	-0,30	1,00
$z, \text{ м}$	26,23	19,89	18,02	3,08	17,00

Таблица 2

Угол атаки судна	Угол атаки парусов	Коэффициенты тангенциальных и нормальных сил	Паруса		
			прямые	гафельные	косые свободно работающие
60°	30°	C_x	0,56	0,7	0,57
		C_y	0,925	1,35	0,97
70°	35°	C_x	0,7	0,89	0,66
		C_y	1,04	1,45	0,91
80°	40°	C_x	0,88	1,09	0,75
		C_y	1,15	1,44	0,87
90°	45°	C_x	1,09	0,82	0,8
		C_y	1,19	0,82	0,8
100°	50°	C_x	1,19	0,86	0,875
		C_y	1,075	0,75	0,75
110°	55°	C_x	1,15	0,93	0,95
		C_y	0,85	0,65	0,7
120°	60°	C_x	1,09	0,965	1,02
		C_y	0,62	0,55	0,605
130°	65°	C_x	1,1	1,02	1,075
		C_y	0,52	0,45	0,51
140°	70°	C_x	1,11	1,03	1,11
		C_y	0,42	0,36	0,42
150°	75°	C_x	1,15	1,05	1,15
		C_y	0,3	0,3	0,31
160°	80°	C_x	1,15	1,07	1,18
		C_y	0,2	0,2	0,215
170°	85°	C_x	1,15	1,09	1,2
		C_y	0,1	0,1	0,1
180°	90°	C_x	1,15	1,1	1,22
		C_y	0	0	0

Таблица 3

Угол атаки	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
C_x	0,21	0,13	0,05	0,00	-0,03	-0,06	-0,10	-0,17	-0,33	-0,58	-0,65	-0,64	-0,61
C_y	0,91	0,99	1,03	1,05	1,03	0,99	0,91	0,80	0,67	0,53	0,36	0,18	0,00



Рис. 3 Модель УПС «Круzenshtern» во время испытаний

Для определения коэффициента тангенциальной силы, возникающей на корпусе судна, воспользуемся результатами упомянутого выше эксперимента и [7]; для определения коэффициента нормальной силы, возникающей на корпусе судна – формулой

$$C_y = 1,05 \sin \varphi.$$

Относительно корпуса расчет коэффициентов происходит в обращенной системе координат. Аэродинамические коэффициенты указаны в табл. 3.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕНЯЩЕГО МОМЕНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ АТАКИ

Тангенциальная сила X , возникающая на парусе, определяется по формуле [6]

$$X_i = C_{xi} \frac{\rho_w}{2} S_i W_R^2. \quad (1)$$

Нормальная сила Y , возникающая на парусе, определяется по формуле [6]

$$Y_i = C_{yi} \frac{\rho_w}{2} S_i W_R^2. \quad (2)$$

где C_{xi} – коэффициент тангенциальной силы, возникающей на i -м парусе;
 C_{yi} – коэффициент нормальной силы, возникающей на i -м парусе;
 ρ_w – плотность воздуха, $\rho_w = 1,25 \text{ кг/м}^3$;
 S_i – площадь i -го паруса, м^2 ;
 W_R – скорость вымпельного ветра, м/с .

Из формул (1) и (2) получаем:

$$F_{Di} = 0,5 \rho_w W_R^2 S_i (C_{xi} \sin \varphi + C_{yi} \cos \varphi) = 0,5 \rho_w W_R^2 S_i \frac{C_{xi}}{\cos \beta} \sin \alpha;$$

$$F_{Ti} = 0,5 \rho_w W_R^2 S_i (C_{yi} \sin \varphi - C_{xi} \cos \varphi) = 0,5 \rho_w W_R^2 S_i \frac{C_{xi}}{\cos \beta} \cos \alpha,$$

где F_{Di} – боковая сила, действующая на судно от i -го паруса, Н;
 F_{Ti} – сила тяги, действующая на судно от i -го паруса, Н;
 β – угол между тангенциальной силой X и результирующей силой паруса;
 α – угол между ДП и результирующей силой паруса.

По аналогии с парусами, на корпусе при воздействии ветра под углом к ДП также возникают нормальная и тангенциальная силы. Но так как расчет аэродинамических коэффициентов для корпуса производился в обращенной системе координат, формулы для нахождения боковой силы F_{Dk} и силы тяги F_{Tk} могут быть записаны следующим образом:

$$F_{Dk} = 0,5 \rho_w W_R^2 S C_{yk},$$

$$F_{Tk} = -0,5 \rho_w W_R^2 S C_{xk}.$$

Для рангоута и такелажа принимаем коэффициент сопротивления $C_{xrt}=1,3$ в соответствии с рекомендациями [2]:

$$F_{Drt} = F_{Trt} = 0,5 \rho_w W_R^2 \cdot S \cdot 1,3.$$

Необходимо учесть изменение скорости ветра по высоте [2]:

$$W_{Rz} = W_R \sqrt[4]{z/2},$$

где z – возвышение центра парусности i -го элемента.

В связи с тем, что скорость ветра непостоянна, при расчетах ветровой нагрузки, в качестве запаса в безопасную сторону, обычно принимают коэффициент порывистости $k=1,225$. Но при расчете парусных судов этот коэффициент уместен не всегда, так как он мешает определять достижимую судном скорость V .

Также при измерении высоты необходимо учитывать еще и угол крена.

Чтобы определить кренящий момент, создаваемый ветром, необходимо определиться с плечом $l_{кр}$.

Так как в принятой системе координат сила инерции проходит через ЦТ судна, кренящий момент в данном случае можно рассчитать по формуле

$$M_{кр} = \sum_{i=1}^n F_{Di.прям} \cdot l_{кр.прям} + \sum_{i=1}^n F_{Di.гаф} \cdot l_{кр.гаф} + \sum_{i=1}^n F_{Di.кос} \cdot l_{кр.кос} + F_{Dk} \cdot l_{кр.корп} + l_{кр.ранг,так},$$

где $F_{Di.прям}$ – боковая сила, возникающая на прямых парусах;
 $F_{Di.гаф}$ – боковая сила, возникающая на гафельных парусах;
 $F_{Di.кос}$ – боковая сила, возникающая на косых парусах;
 $l_{кр.прям}$ – возвышение центра парусности прямых парусов над ЦТ;
 $l_{кр.гаф}$ – возвышение центра парусности гафельных парусов над ЦТ;
 $l_{кр.кос}$ – возвышение центра парусности косых парусов над ЦТ;
 $l_{кр.корп}$ – возвышение центра парусности надводной части корпуса над ЦТ;
 $l_{кр.ранг,так}$ – возвышение центра парусности рангоута и такелажа над ЦТ;

$$M_{кр} = 0,5 \rho_w W_R^2 \left[\begin{aligned} & \sum S_{i.прям} \cdot \cos \theta \sqrt{0,5 z_{i.прям} \cdot \cos \theta} \cdot (z_{i.прям} \cdot \cos \theta + T_{ср} - z_g) \frac{C_{x.прям}}{\cos \beta} \sin \alpha + \\ & + \sum S_{i.гаф} \cdot \cos \theta \sqrt{0,5 z_{i.гаф} \cdot \cos \theta} \cdot (z_{i.гаф} \cdot \cos \theta + T_{ср} - z_g) \frac{C_{x.гаф}}{\cos \beta} \sin \alpha + \\ & + \sum S_{i.кос} \cdot \cos \theta \sqrt{0,5 z_{i.кос} \cdot \cos \theta} \cdot (z_{i.кос} \cdot \cos \theta + T_{ср} - z_g) \frac{C_{x.кос}}{\cos \beta} \sin \alpha + \\ & + S_{корп} C_{yk} (z_{i.корп} + T_{ср} - z_g) + \\ & + S_{ранг,так} 1,3 (z_{i.ранг,так} \cdot \cos \theta + T_{ср} - z_g) \sqrt{0,5 z_{i.гаф} \cdot \cos \theta} \end{aligned} \right]$$

При имеющихся диаграммах статической и динамической остойчивости можно выразить:

$$W_R = \sqrt{2 M_{кр} / \rho_w \Sigma F_{Di}}.$$

Диаграмма статической остойчивости УПС «Кру-зенштерн» в скоростях ветра приведена на рис. 4

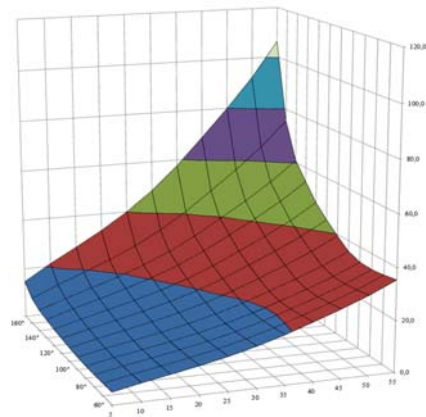


Рис. 4

Результаты расчетов ветростойкости без учета и с учетом порывистости представлены в табл. 4 и 5 соответственно.

Таблица 4

												Опрокидывающий статический момент	Опрокидывающий динамический момент
θ°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	55,82°	33,5°
М ст, кН.	4675	9566	14924	20988	28022	36232	45586	55043	61729	65472	66860	66889	43000
φ	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$
60°	4,8	7,0	8,9	11,0	13,3	15,9	19,1	22,8	26,5	30,6	35,4	36,3	18,2
70°	4,7	6,8	8,7	10,7	12,9	15,5	18,6	22,2	25,9	29,9	34,5	35,4	17,7
80°	4,6	6,7	8,6	10,5	12,7	15,2	18,3	21,8	25,4	29,3	33,9	34,8	17,4
90°	4,6	6,7	8,6	10,6	12,8	15,3	18,4	21,9	25,6	29,5	34,1	35,0	17,5
100°	4,9	7,1	9,1	11,1	13,4	16,1	19,3	23,0	26,8	31,0	35,8	36,7	18,4
110°	5,4	7,8	10,0	12,2	14,8	17,8	21,3	25,4	29,6	34,1	39,4	40,4	20,2
120°	5,9	8,6	11,0	13,5	16,3	19,6	23,5	28,0	32,6	37,6	43,4	44,5	22,3
130°	6,6	9,5	12,2	14,9	18,0	21,7	26,0	31,0	36,1	41,6	48,0	49,2	24,7
140°	7,5	10,8	13,8	16,9	20,5	24,6	29,5	35,1	40,8	47,1	54,3	55,7	28,0
150°	8,4	12,1	15,5	19,0	22,9	27,5	33,0	39,3	45,8	52,8	60,9	62,4	31,4
160°	10,3	15,0	19,1	23,5	28,3	34,0	40,8	48,6	56,6	65,2	75,2	77,1	38,8
170°	14,6	21,1	27,0	33,1	40,0	48,0	57,6	68,6	79,9	92,0	106,2	108,8	54,8

Таблица 5

												Опрокидывающий статический момент
θ°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	55,82°
М ст, кН.	4675	9566	14924	20988	28022	36232	45586	55043	61729	65472	66860	66889
φ	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$	$W_R=W_A$
60°	3,9	5,7	7,3	9,0	10,8	13,0	15,6	18,6	21,7	25,0	28,9	29,7
70°	3,8	5,6	7,1	8,7	10,5	12,7	15,2	18,1	21,1	24,4	28,2	28,9
80°	3,8	5,5	7,0	8,6	10,4	12,5	14,9	17,8	20,8	24,0	27,7	28,4
90°	3,8	5,5	7,0	8,6	10,4	12,5	15,0	17,9	20,9	24,1	27,9	28,6
100°	4,0	5,8	7,4	9,1	10,9	13,1	15,8	18,8	21,9	25,3	29,2	29,9
110°	4,4	6,4	8,2	10,0	12,1	14,5	17,4	20,7	24,1	27,8	32,2	33,0
120°	4,8	7,0	9,0	11,0	13,3	16,0	19,2	22,8	26,6	30,7	35,4	36,3
130°	5,4	7,8	10,0	12,2	14,7	17,7	21,2	25,3	29,4	33,9	39,2	40,1
140°	6,1	8,8	11,3	13,8	16,7	20,1	24,1	28,6	33,4	38,4	44,4	45,4
150°	6,8	9,9	12,7	15,5	18,7	22,5	27,0	32,1	37,4	43,1	49,7	51,0
160°	8,4	12,2	15,6	19,2	23,1	27,8	33,3	39,7	46,2	53,2	61,4	62,9
170°	11,9	17,3	22,1	27,1	32,7	39,2	47,0	56,0	65,2	75,1	86,7	88,8

Систематические расчеты остойчивости для крупнотоннажных парусно-моторных судов Российской Федерации (табл. 6) позволили разработать предложения по корректировке части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов РС [2] для случаев несения парусного вооружения.

Таблица 6

Крупнотоннажные парусно-моторные суда Российской Федерации

Характеристики судов	УПС «Крузенштерн»	УПС «Седов»	УПС «Мир» УПС «Надежда» УПС «Паллада»
Тип судна	Барк	Барк	Корабль
Год постройки	1926	1921	1988
Место постройки	Германия	Германия	Польша
Длина наибольшая, м	114,5	117,5	108,8
Длина корпуса, м	104,3	107,85	94,8
Длина между перпендикулярами, м	95,15	98,5	79,2
Ширина, м	14,02	14,6	14
Высота борта, м	8,48	8,72	10,65
Осадка средняя, м	6,55	6,3	6,6
Водоизмещение в полном грузу, т	5920	6339,3	2984
Водоизмещение порожнего судна, т	4160	4957,3	2223
Общая площадь парусов, м ²	3631,6	4192	3015
Количество мачт	4	4	3

4. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КОРРЕКТИРОВКЕ ЧАСТИ IV
«ОСТОЙЧИВОСТЬ» ПРАВИЛ РС [2]

В п. 1.4.6.1 части IV «Остойчивость» правил РС [2] добавляется следующий текст:

«Для парусно-моторных судов длиной более 70 м площадь парусности установленных парусов должна учитываться отдельно по чертежу бокового вида и включаться в общую площадь парусности сплошных поверхностей.».

Название раз. 4 изменить на следующее: «4. Требования к остойчивости плавучих кранов, крановых судов, транспортных понтонов, доков, стоечных судов и парусно-моторных судов длиной более 70 м в случае установки парусного вооружения».

Разд. 4 дополняется главой 4.5:

«4.5. ПАРУСНО-МОТОРНЫЕ СУДА ДЛИНОЙ БОЛЕЕ 70 м В СЛУЧАЕ УСТАНОВКИ ПАРУСНОГО ВООРУЖЕНИЯ

4.5.1 Остойчивость парусно-моторных судов в случае установки полного комплекта парусного вооружения.

4.5.1.1 Остойчивость парусно-моторных судов в случае установки полного комплекта парусного вооружения должна проверяться при следующих вариантах нагрузки:

.1 судно со специальным персоналом на борту и полными запасами;

.2 судно, как в первом варианте нагрузки, но с 50 % запасов;

.3 судно, как в первом варианте нагрузки, но с 10 % запасов.

4.5.1.2. Рассматриваются наихудшие эксплуатационные условия, когда выпелльная скорость ветра равна его истинной скорости. На практике такой случай применим, если судно находилось в состоянии покоя, и на него налетел внезапный шквал, либо при развороте судна лагом к волне, либо при неумелом управлении

судном, когда судно может зайти под ветер другой стороной.

4.5.1.3. Остойчивость считается достаточной, если:

.1 критерий погоды $K = b/a \geq 1$ согласно 2.1.2 без учета амплитуды качки согласно 2.1.5 для судов неограниченного района плавания при расчетном давлении ветра 504 Па;

.2 статический угол крена от действия постоянного ветра не превышает угла входа в воду кромки открытой палубы;

.3 угол заливания судна не менее 60°;

.4 угол заката диаграммы статической остойчивости не менее 90°».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Царев Б.А. Проектирование экологически чистых и энергосберегающих судов. – Л.: Изд. ЛКИ, 1987. – 101 с.

2. Правила классификации и постройки морских судов. Том I. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2014. – 480 с.

3. Ship Hydrostatics and Stability A.B. Biran. 2003.

4. Chatterton HA, Maxham JC (1989) . "Sailing Vessels Stability-with Particular Reference to the Pride of Baltimore Casualty", MarineTechnology, Vol 26, No 2, pp. 87 – 104.

5. Chen SH, Feng ED (1995). "Determination of Sail Area in Sail-assistant Ship", Journal of Wuhan Transportation University, Vol 19, No 4, pp. 420 – 423.

6. Крючков Ю.С., Лапинин В.И. Парусные катамараны. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 301 с.

7. Справочник по теории корабля: в трех томах. Том 3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами

поддержания / Под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 544 с.

8. Cleary C, Daidola CJ, and Reyling CJ (1996). "Sailing Ship Intact Stability Criteria", Marine Technology, Vol 33, No 3, pp. 218–232.

9. Deakin B, Eng C (1990). "The Development of Stability Standards for UK Sailing Vessels", The Royal Institution of Naval Architects.

10. Li WB (2010). "Ship Lines Design of Navy Sail Training Ship and the Research On the Sailing performance", A Dissertation Submitted

ОБОЗРЕНИЕ: ОАО КБ «ВЫМПЕЛ» – 85 ЛЕТ НА РЫНКЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУДОВ



КБ «Вымпел», основанное в 1930 г., отмечает свое 85-летие.

На протяжении десятилетий КБ «Вымпел», инициативно и эффективно реагируя на требования времени, непосредственно участвует в принципиальных, революционных технических изменениях в развитии отечественного судостроения.

В годы Великой Отечественной войны, внося свой вклад в Победу, бюро занималось оборонной продукцией. В послевоенный период и вплоть до конца 80-х годов ЦКБ «Вымпел» развивало многопрофильную деятельность по проектированию речных и морских судов, вспомогательных судов ВМФ, желез-

нодорожных паромов и судов на воздушной подушке. Более чем за 80 лет было разработано свыше 630 проектов, по которым построено более 6500 судов и морских объектов.

На данный момент по проектам КБ ведется строительство судов на 15 заводах, в том числе и в Финляндии.

Бюро специализируется на проектировании в соответствии с требованиями классификационных обществ различных типов часто эксклюзивных по своим свойствам судов:

- ледоколов и судов арктического плавания;
- танкеров для перевозки нефти, нефтепродуктов и химических грузов;
- транспортных универсальных сухогрузных судов;
- железнодорожных и автомобильно-пассажирских паромов;
- плавучих технических средств для освоения шельфа;
- пассажирских, скеговых судов и судов на воздушной подушке;
- судов технического флота;
- вспомогательных и специальных судов ВМФ;

- судов атомно-технического обеспечения;

- научно-исследовательских и рыбопромысловых судов;

- плавучих доков, электростанций и насосных станций;

- мостопереправочных средств для нужд Минобороны РФ и наплавных мостов.

Также КБ оказывает помощь в техническом сопровождении строительства судов.

Деятельность КБ направлена на максимально полное удовлетворение требований заказчика. Для повышения конкурентоспособности в проекты закладываются самые передовые, инновационные конструкторские решения, обеспечивающие экономичность, надежность и безопасность эксплуатации судов, их экологическую чистоту и удобство работы экипажа. Специалисты КБ «Вымпел» широко используют современные технологии компьютерного трехмерного проектирования, что позволяет ускорить его процесс, избежать ошибок и осуществлять выполнение проекта совместно с другими проектными организациями.



МАТЕРИАЛЫ И СВАРКА

В.К. Башаев

ФАУ «Российский морской
регистр судоходства»



А.В. Ильин

д-р. техн. наук

В.Ю. Филин

канд. техн. наук

М.А. Гусев



ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ХЛАДОСТОЙКОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

В ыбор корпусных материалов для судов ледового плавания, ледоколов и морских сооружений для эксплуатации на нефтегазовых месторождениях арктического шельфа России должен обеспечиваться системой нормативных требований к их качеству.

Важной особенностью низколегированных сталей, применяемых для таких конструкций, является наличие вязко-хрупкого перехода, то есть возможность хрупких разрушений при пониженных температурах. Факторы, способствующие хрупкому разрушению — высокая жесткость напряженно-деформированного состояния, вызванная концентраторами напряжений и неизбежными дефектами, а также динамические ледовые нагрузки.

Толщина стали в морских сооружениях может достигать 130 и даже 150 мм, что требует учета масштабного фактора при оценке результатов испытаний, полученных на образцах уменьшенных размеров.

Российский морской регистр судоходства внес дополнительный набор требований к

корпусным сталям для арктических конструкций [1, 2]. Суда, удовлетворяющие требованиям к длительной эксплуатации при низких климатических температурах, могут получить к основному символу класса дополнительный знак **WINTERIZATION(DAT)**, где в скобках указывается расчетная внешняя температура, обычно определяемая как минимальная суточная температура, достигаемая за пятилетний период. Например, DAT должна быть не выше $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ для ледоколов классов **Icebreaker7** — **Icebreaker9** и судов ледового плавания классов **Arc7** — **Arc9** [1].

Правила Регистра предусматривают для таких конструкций применение соответствующих марок стали с верхним индексом «Arc» и числовым значением DAT в градусах Цельсия. Такие стали могут применяться до указанной температуры без ограничений даже для конструкционных элементов, подвергаемых динамическим ледовым нагрузкам. Данная практика поддерживается российской системой сертификации материалов,

включающей несколько видов испытаний на хладостойкость. На рис. 1 показана диаграмма кооперации при проведении сертификации. ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» представлен на этой диаграмме аккредитованной Испытательной лабораторией «Промтест КМ» и соответствующими подразделениями.



Рис. 1 Диаграмма кооперации при проведении сертификации

Программы испытаний составляются изготовителями в контакте с классификационным обществом и испытательной лабораторией и основываются на правилах общества. Объемы испытаний назначаются с учетом доступной информации изготовителя о ранее проведенных испытаниях, целей сертификации (разовый проект или получение СПИ), а также согласованного количества сертифицируемых марок стали и диапазона толщин.

Полный объем испытаний включает определение химического состава, микроструктуры, стандартных свойств (включая испытания на растяжение в полной толщине), а также специальные испытания по определению применимости стали по хладостойкости (испытания по определению критических температур вязко-хрупкого перехода).

Российская практика сертификации предусматривает следующие виды испытаний для проверки хладостойкости стали:

- общепринятое построение температурных зависимостей работы удара на образцах Шарпи;
- испытания на вязкость разрушения при нескольких температурах, чтобы определить, при каких из них удовлетворяются требования по $CTOD$ (критическому раскрытию в вершине трещины);
- определение температуры нулевой пластичности (NDT) по стандарту ASTM E 208 [3], то есть максимальной температуры, при которой стандартные образцы разрушаются при ударном трехточечном изгибе;
- определение температуры вязко-хрупкого перехода T_{KB} (критической температуры, опреде-

ляемой на полнотолщинных образцах), которая соответствует 70 % вязкой составляющей в изломе образцов, разрушенных статическим трехточечным изгибом.

Последний вид испытаний исторически берет начало с 1950-х годов от общеизвестных испытаний на излом проб натурной толщины, когда в мировой металлургической практике были разработаны несколько методов испытаний на медленный изгиб [4], например, да Граафом и ван дер Вееном [5], которые использовали образцы одного размера в плане и конкретный небольшой пролет между опорами для любой толщины металла. Различные методы испытаний предусматривали регистрацию следующих параметров: содержания вязкой составляющей в изломах, которое, как правило, определялось по длине кристаллического «языка» — характерного типа разрушения образцов углеродистых конструкционных сталей; перемещения по линии нагружения; диаграммы «нагрузка-перемещение» и т. д.

Исследованиями Гая Плювинажа и др. [6] показано, что увеличение радиуса концентратора приводит к получению менее консервативных результатов при оценке вязкости разрушения образцов, моделирующих конструкции с дефектами. Однако такие исследования относятся к моменту старта трещины, тогда как конструкционные стали должны обеспечивать безопасную эксплуатацию конструкций за счет способности останавливать хрупкое разрушение.

Используемый в российском судостроении метод механических испытаний для определения T_{KB} предназначен для проверки условий распространения и остановки трещины, а круглый надрез приводит к достижению предельной несущей способности образцов, то есть накоплению при испытании такого количества упругой энергии, когда энергия, высвобождаемая при продвижении трещины, не зависит от условий ее страгивания. Метод был тщательно изучен для определения значимых факторов, влияющих на результаты испытаний [7]. Для обеспечения стабильности и повторяемости результатов испытаний была введена градация размеров образца и строгая регламентация условий нагружения. Принятая процедура испытаний для определения T_{KB} , описана в правилах Регистра [2].

Современные требования Регистра, принятые с учетом опыта, накопленного за последнее десятилетие, реально выполнимы для серийно выпускаемых сталей повышенной и высокой прочности, как это показано на рис. 2.

Испытания для определения как NDT , так и T_{KB} предназначены для определения нижней температурной границы применимости конструкций, выполнен-

ных из сертифицированных материалов. Оценка T_d (DAT) может быть выполнена по формулам:

$$(T_d)_{NDT} = NDT + 25 \ln(t/15) \quad (1)$$

$$(T_d)_{T_{KB}} = T - 25 \ln(t/20) \text{ при } t > 20 \text{ мм,}$$

$$(T_d)_{T_{KB}} = T_{KB} \text{ при } t \leq 20 \text{ мм.} \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) основаны на анализе корреляции этих температур вязко-хрупкого перехода с результатами испытаний крупногабаритных образцов натурной толщины на двойное растяжение по методике Каназавы [8], проведенных в Крыловском государственном научном центре (Санкт-Петербург). Увеличение толщины сертифицируемого листового проката приводит к ужесточению требований по NDT , так как проба на NDT не является испытанием в полной толщине. Это учитывается сдвигом температуры со знаком «плюс» в формуле (1). Проба на T_{KB} , особенно при большой толщине проката, испытывается при более жестком напряженно-деформированном состоянии изгиба по сравнению с испытаниями на растяжение по методике [8], поэтому для толщин свыше 20 мм в формуле (2) вводится сдвиг температуры со знаком «минус».

На рис. 3 показано сравнение оценок DAT по результатам определения NDT и T_{KB} согласно табулированным требованиям Регистра, близким к представленным формулам. Следует отметить, что реальная корреляция результатов обладает большим рассеянием, поэтому оба вида испытаний следует

проводить при сертификации. В [9] исследовались причины такого различия — это, в первую очередь, неодинаковое сопротивление распространению хрупкого разрушения в образцах при NDT и T_{KB} с разной ориентацией трещины по отношению к поверхности проката, а также структурная неоднородность по толщине листа. В целом, температура T_{KB} оказывается более критическим параметром хладостойкости материала.

В дополнение необходимо обсудить некоторые проблемы, возникающие при определении критических температур вязко-хрупкого перехода сталей, производимых по современным технологиям.

Что касается испытаний на определение NDT , трещины в образцах из стали ТМО, как правило, не распространяются в плоскости, перпендикулярной поверхности проката (рис. 4, а). Стали ТМО отличаются неоднородностью в направлении толщины, которая может остановить поверхностную трещину, что способно привести к ошибке в опасную сторону при оценке температурного диапазона применимости стали.

Критическая NDT может оказаться неконсервативной для стали большой толщины, так как при стандартном расположении образцов трещина стартует от поверхности (рис. 6, б), а металл в средней части по толщине проката не исследуется. Работы [9, 10] показали, что значение NDT , полученное на образцах, вырезанных в положениях 2 и 3 (рис. 4, в) может оказаться на 30 °С выше, чем на стандартных образцах, вырезанных в положении 1.

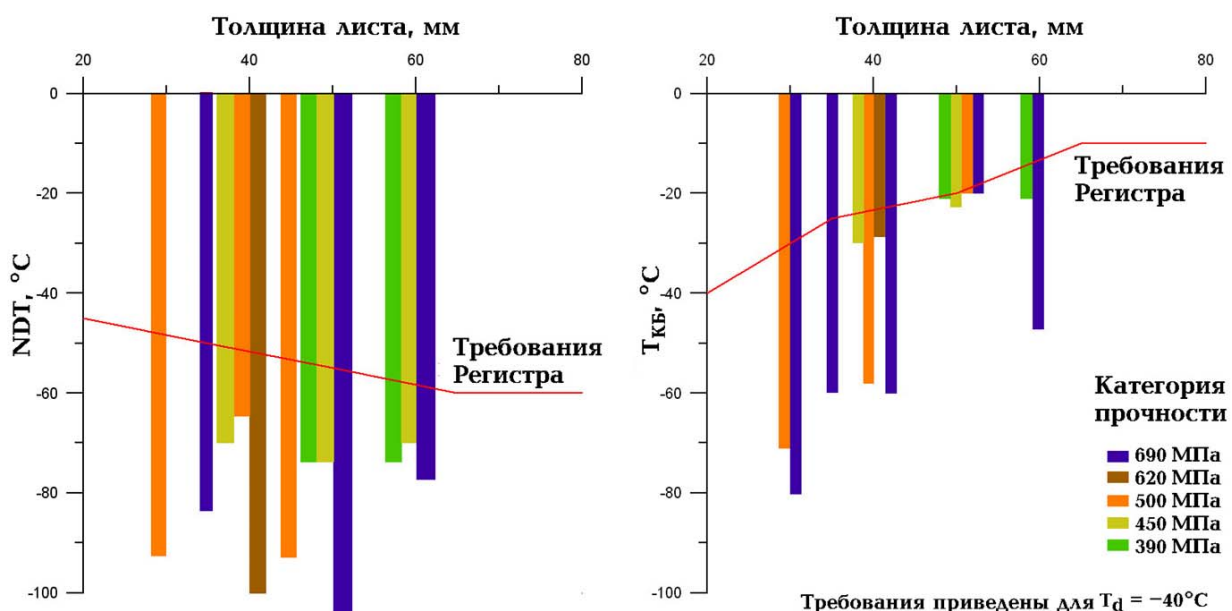


Рис. 2 Критические температуры NDT и T_{KB} , достижимые сталями серийного производства (T_d - минимальная проектная температура (DAT))

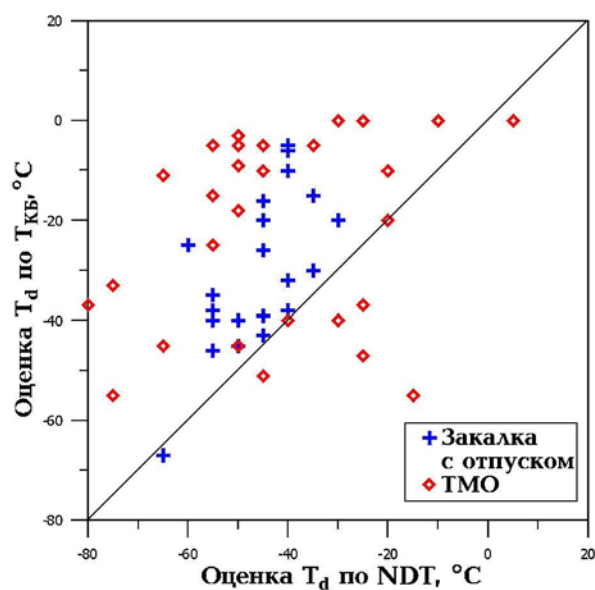
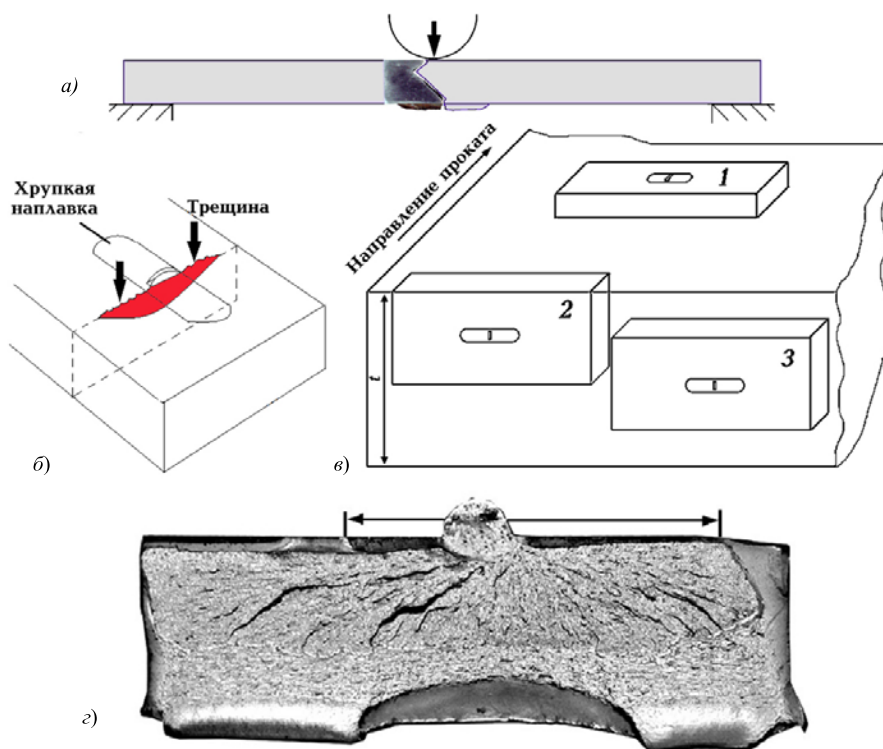
Рис. 3 Сравнение оценок DAT по $T_{кб}$ и NDT

Рис. 4, $г$ показывает поверхность разрушения образца, изготовленного из стали после закалки с прокатного нагрева и отпуска. Образец был доломан

статическим трехточечным изгибом после испытания. Длины трещины, которые были видны на поверхности после испытания, показаны стрелками. Таким образом, возможна ещё одна ошибка в опасную сторону: образцы могут выглядеть не разрушенными. Причина этого явления была изучена авторами [10]; фраттографический анализ доказал, что для зоны распространения трещины в стали после закалки с прокатного нагрева и отпуска характерно наличие значительно меньшей доли зернограничного разрушения по сравнению с металлом после закалки с печного нагрева и отпуска. Поэтому образцы NDT , показавшие сомнительные результаты, следует термически окрашивать для фиксации формы трещины и доламывать для анализа изломов.

При испытаниях на определение $T_{кб}$ основной проблемой является корректная оценка различных областей излома как волокнистых (разрушение сдвигом) или хрупких (кристаллических, разрушение отрывом). На рис. 5 представлены наблюдаемые типы разрушения, на рис. 6 — примеры их появления в реальных изломах. Типы разрушения IV, VII и VIII характерны для сталей ТМО. Обычно наблюдается комбинация типов разрушения, в любом случае измеряют общую площадь кристаллических

Рис. 4 Неточности при определении NDT :

- a — путь трещины в стали ТМО;
- b — стандартная ориентация образцов и предполагаемая форма трещины;
- $в$ — альтернативная ориентация образцов в толстолистовой стали;
- $г$ — подповерхностное распространение трещины в стали после закалки с прокатного нагрева и отпуска

пятен и вычисляют процент волокнистой составляющей по формуле

$$B = (S - S_{cr}) / S \times 100\%, \quad (3)$$

где $S = t \times (W - a)$ — площадь нетто-сечения перед испытанием,
 S_{cr} — общая площадь кристаллической составляющей в изломе.

Типы разрушения можно описать следующим образом:

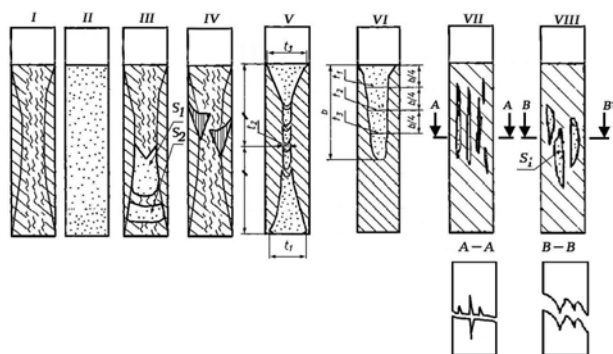


Рис. 5 Типы разрушения образцов $T_{кб}$ при испытаниях на определение $T_{кб}$

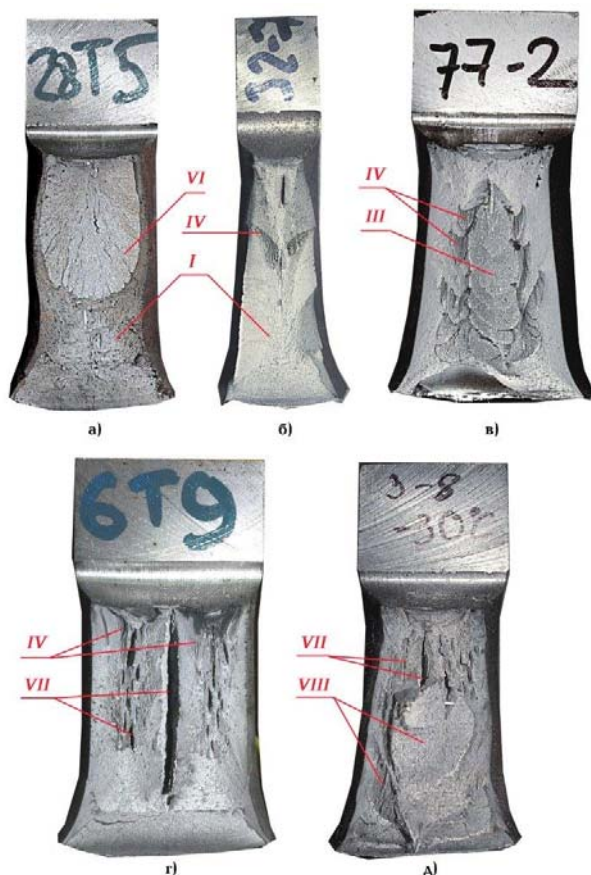


Рис. 6 Примеры появления различных типов разрушения в изломах образцов при испытаниях на определение $T_{кб}$

I — вязкое разрушение, матовая поверхность. $S_{cr} = 0$, $B = 100\%$;

II — разрушение отрывом, $S_{cr} = S$, $B = 0\%$. Губы среза, если имеются, не принимаются в расчет, если их ширина менее 0,5 мм на сторону. Разрушение отрывом — это не синоним кристаллического типа разрушения;

III — отдельные пятна кристалла, $S_{cr} = \Sigma S_i$;

IV — разрушение в виде стрелок. Его оценка требует проведения фрактографического анализа. Если таковой не проводился, $S_{cr} = 0,5 \Sigma S_i$;

V — чередующееся разрушение,

$$S_{cr} = S \times \left(\frac{t_1 + t_3}{2} + t_2 \right) / (2t), \quad t \text{ измеряют до испытания.}$$

Волокнистые перемычки не принимают в расчет, если полоса кристалла занимает всю высоту нетто-сечения $(W - a)$, иначе такое разрушение относят к типу III;

VI — язык кристалла, $S_{cr} = \left(\frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} \right) b$, где b — длина языка;

VII — расщепления, параллельные исходной поверхности металла, которые появляются в процессе испытания (отлично от расслоений) на поверхностях разрушения с одной или обеих сторон образца, $S_{cr} = 0$, $B = 100\%$. Расщепления высотой более $0,5(W - a)$ могут быть соотнесены с наличием проблем технологии производства проката. Данный тип локального разрушения связан с особенностями структурного состояния сталей ТМО — наличием структурной неоднородности по толщине листового проката с пониженным сопротивлением отрыву в Z-направлении (рис. 7), где при испытаниях на трехточечный изгиб возникает высокий уровень напряжений;

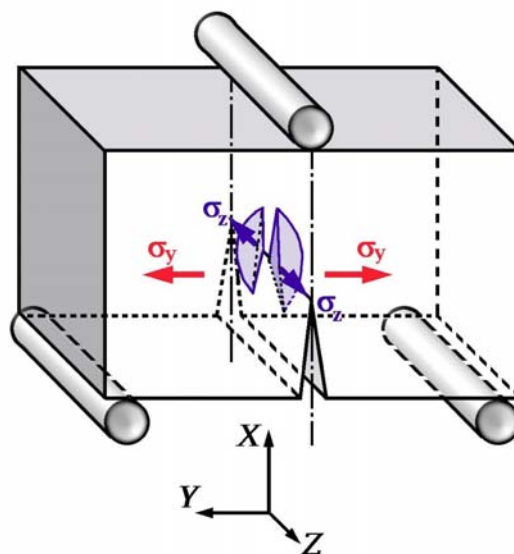


Рис. 7 Распространение разрушения по механизму расщепления

VIII — площадь кристаллических пятен, расположенных под различными углами к поверхности надреза, учитывают в проекции на эту плоскость.

Необходимо исследовать обе половины образца, особенно для типов разрушения VII и VIII. Расщепления типа VII, параллельные поверхности проката, не учитывают, для типа VIII площадь кристаллических пятен учитывают в проекции на плоскость надреза. Данный подход основан на предположении о большей опасности разрушения типа VIII, исходящем из результатов испытаний на трещиностойкость, где разрушения типа VII приводят к скачкам (pop-in) на диаграммах деформирования с дальнейшим ростом нагрузки на стадии вязкого разрушения, а разрушения типа VIII означают потерю несущей способности образца.

ВЫВОДЫ

Современные низколегированные стали повышенной и высокой прочности, применимые для арктических конструкций, должны отвечать ряду жестких требований в отношении хладостойкости. Методы испытаний по определению критических температур вязко-хрупкого перехода исторически были разработаны применительно к углеродистым и низколегированным сталям с феррито-перлитной структурой, в отличие от современных сталей с мелкозернистой структурой бейнитного типа. Предложенные методы оценки наблюдаемых видов разрушения образцов современных хладостойких сталей позволяют более корректно оценить результаты испытаний, а также избежать излишнего консерватизма оценок без ошибки в опасную сторону.

На основании накопленных статистических данных отмечено, что испытания на определение $T_{кб}$ в большинстве случаев дают наиболее консервативную оценку хладостойкости металла листового проката. В этом отношении они удобны для исследовательских целей при разработке новых технологий производства судокорпусной стали. Тем не менее, они не могут заменять другие виды испытаний при сертификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки морских судов. Т. 2. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2014. — 767 с.
2. Правила классификации, постройки и оборудования ПБУ и МСП. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2014. — 483 с.
3. ASTM E208-06 (2012) Standard Test Method for Conducting Drop-Weight Test to Determine Nil-Ductility Transition Temperature of Ferritic Steels, ASTM International, 2012. — 14 p.
4. Hall W.J., Evaluation of fracture tests and specimen preparation, Fracture IV, pp. 2–44, Liebowitz, Ed., Academic Press (1969).
5. De Graaf J.E. and van der Veen J.H., "J. Iron. Steel." London, 1953, No.173, p. 19.
6. M. Hadj Meliani, Z. Azari, G. Pluvinaige and Y.G. Matvienko, Effects of Notch Radius on the Master Failure Curve of the SENB Specimens. Proc. of ECF19, Kazan, 2012.
7. Данилов Г.И., Ильин А.В., Леонов В.П., Фёдорова Т.А. К проблеме оценки хладостойкости листов из сталей натурной толщины по температуре вязко-хрупкого перехода $T_{кб}$ // Проблемы материаловедения. — 2005. — № 1(41). — С. 69–79.
8. Kanazawa T., Machida S., Yajima H. and Aoki M., Effects of specimen size and loading conditions on the brittle fracture propagation arrest characteristics, "Journal of the Society of Naval Architects of Japan", Vol. 130, 1971, pp. 343–351.
9. Евенко В.И., Башаев В.К., Ильин А.В., Леонов В.П., Филин В.Ю., Щеголева Е.Г. Проблемы аттестации высокопрочных хладостойких материалов для конструкций арктического шельфа России, применение расчетных оценок сопротивления хрупкому разрушению для обоснования требований к сталям и сварным соединениям // Вопросы материаловедения. — 2009. — Вып. 3(59). С. 17–37.
10. Мотовилина Г.Д., Филин В.Ю., Глибенко О.В. Особенности разрушения высокопрочной свариваемой конструкционной стали для арктического применения при температурах, близких к температуре нулевой пластичности // Деформация и разрушение материалов — 2015. — №4. — С. 42–48.



МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ДВИЖИТЕЛИ

А.Ф. Дорохов

д-р техн. наук, проф.,
ФГБОУ ВПО «АГТУ»



П.А. Дорохов

Астраханский филиал
ФАУ «Российский морской
регистр судоходства»



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Сравнительная оценка качества машин по определенной совокупности их параметров относится к числу задач, с которыми машиностроителям приходится сталкиваться часто (например, при аттестации качества, обосновании планов создания новой техники, анализе конкурентоспособности и т. п.). Независимо от конечных целей, общий алгоритм решения задачи один и тот же – для оцениваемой машины подбирается один или несколько аналогов, после чего производится сопоставление числовых значений их показателей. Получаемые единичные оценки рассматриваются дифференцировано или сводятся к суммарному показателю и служат основанием для принятия решения об уровне качества и конкурентоспособности этой машины. Наиболее объективная и достоверная оценка могла бы быть получена путем проведения сравнительных испытаний машин-аналогов по единой методике и в одинаковых условиях, а также на основании обобщенных данных об опыте их эксплуатации. Однако на практике часто не имеется ни самих образцов машин, ни исчерпывающих, документально подтвержденных данных о них, а основными информационными источниками выступают проспектно-каталожные материалы фирм-изготовителей. Более того, фирмы выпускают рекламные проспекты новых моделей еще на

стадии проектирования, до изготовления опытных образцов.

Отсюда следует, что при комплексной оценке качества конкретной машины прежде всего следует исходить из экспертной оценки значимости (коэффициента весомости) того или иного показателя в зависимости от атмосферных и внешних условий, характерных показателей режима эксплуатации, возможности выполнения квалифицированного и своевременного технического обслуживания и требуемого потребителем ресурса безотказной работы. Экспертный метод определения коэффициентов весомости показателей путем их ранжирования рекомендован в теории и практике квалиметрии [1].

Несопоставимость имеющихся информационных материалов обуславливается не только неодинаковой степенью достоверности, но и различиями в действующих национальных стандартах и нормах. Поэтому сравнение некоторых показателей возможно после их приведения к сопоставимому виду по внешним условиям, комплектности двигателей и т. д.

Анализ литературных данных показывает, что только из-за атмосферных условий, оговариваемых стандартами многих стран, мощность одного и того же двигателя может варьироваться в пределах до 16%. Труднее всего сопоставлять отечественные и зарубежные

дизели по ресурсным показателям, поскольку каждая фирма применяет свой подход к объему и трудоемкости технического обслуживания и ремонта предлагаемых ею двигателей. Так, например, в одной и той же подборке материалов шведской фирмы Volvo Penta можно встретить ожидаемый ресурс до полной переборки дизель-генераторов 20000 ч и рекомендуемый интервал между полными переборками 12000 ч. Такие расхождения в значениях ресурсов одних и тех же машин, составляющие порой до 100 % и более, могут внести серьезные погрешности в результаты сравнительной оценки их функциональных характеристик. Зарубежные фирмы придают большое значение привязке поставляемых двигателей к условиям их эксплуатации. Ряд фирм оговаривают преимущественный режим работы двигателя в течение гарантируемого срока службы и климатические условия зоны их эксплуатации.

Самый не очевидный из оценочных критериев для дизелей – удельная масса. При существующем многообразии двигателей, по типу и назначению, перед конструкторами стоят совершенно различные задачи. Если для авиационных двигателей или дизелей, устанавливаемых на судах с подводными крыльями, снижение массы является важнейшим фактором, то, например, для стационарных или обычных судовых двигателей требуется прежде всего экономичность, надежность, низкий уровень шума и вибрации, чему способствуют более массивные конструкции. Рекламируемая мощность, как правило, указывается по условиям ИСО без учета потерь на привод вспомогательных механизмов, что приводит к дополнительному увеличению мощности на 5–9%. В результате рекламируемая мощность зарубежных дизелей значительно превышает фактическую длительную мощность, реализуемую потребителем, следствием чего является занижение удельной массы двигателя.

Таким образом, при сравнительных оценках отечественных и зарубежных дизелей, приводимых на основе разнородных информационных материалов, вступает в силу большое число факторов несопоставимости, совместное действие которых придает этим оценкам весьма приблизительный характер. Учитывая, что на практике невозможно обеспечить полную сопоставимость по всем параметрам, результаты сравнений не должны рассматриваться как «истина в последней инстанции», а иметь вспомогательное значение [1].

При оценке технического уровня и качества судовых дизелей широко применяются комплексные показатели, основанные на усреднении относительных показателей учитываемых свойств. Переход от абсолютных показателей K_i , выраженных в различных единицах измерения, к безразмерным относи-

тельным q_i обычно осуществляется с привлечением базовых или эталонных показателей $K_{iэ}$, под которыми понимают показатели качества продукции, принятой за базу при сравнительных испытаниях. В общем виде можно записать

$$q_i = f(K_i, K_{iэ}), i = 1, 2, 3, \dots, n,$$

где i – порядковый номер показателя свойства;
 n – число свойств, характеризующих качество.

В большинстве современных методик q_i определяется как отношение показателя K_i к показателю $K_{iэ}$. Очевидно, что при этом единичные оценки свойств и, следовательно, обобщенный показатель качества будут существенно зависеть от принятых эталонных значений. В связи с этим установление последних представляет ответственный этап в процессе комплексной оценки качества машин.

В теоретических исследованиях и практических разработках существуют два принципиально разных подхода к определению эталонных значений показателей. В первом случае за эталон принимаются показатели реальной, серийно выпускаемой машины, которые в определенной мере отражают современный мировой уровень [2]. При этом принято считать, что оцениваемая машина сопоставляется с лучшим из существующих аналогов. Однако такой подход правомерен, когда эталонная машина лучше других аналогов по всем учитываемым параметрам. Как показывает опыт, на практике такие случаи крайне редки, поскольку многие показатели качества (масса, ресурс, экономичность, экологические показатели и др.) связаны между собой, и принципиально невозможно сочетание в одном образце всех их наилучших значений.

При другом подходе к выбору эталонных значений за базовый принимается условная гипотетическая машина, обладающая такой совокупностью показателей, которую в действительности не имеет ни один из существующих аналогов. Одна из возможностей создания искусственного эталона заключается в том, что по каждому единичному показателю качества берется среднее для всей группы аналогов значение. При этом, в зависимости от цели оценки, сравнивать можно со средним мировым уровнем, средним уровнем по стране, по отрасли и т. п. Однако, как и при использовании любого другого статистического метода, одно из важных, но трудно реализуемых в практике оценки качества машины требований – наличие достаточно большой выборки машин-аналогов. Кроме того, применение того или иного вида средней величины потребует специального обоснования [3]. В литературе предлагаются и другие способы выбора эталонных показателей. Так, они могут браться из действующих стандартов и

нормативных документов, а в зарубежной практике чаще всего назначаются лицом, проводящем оценку.

Для многих случаев оценки качества машин наиболее предпочтителен принцип формирования гипотетического эталона, в соответствии с которым набор $K_{i,j}$ включает в себя наилучшие значения по каждому из учитываемых параметров. В числе преимуществ, обусловленных применением такого идеального эталона, можно отметить следующие:

- максимальное соответствие целям управления качеством, поскольку эталонные значения будут стимулировать разработчиков и изготовителей машины к повышению уровня качества продукции по всем показателям;

- возможность избежать субъективности в выборе аналога для сравнительной оценки и тем самым повысить ее объективность, так как существует базовый образец, символизирующий на данный момент времени наилучшее качество;

- ясное толкование эталона, так как качество оцениваемого двигателя рассматривается как степень приближения к идеальному качеству, соответствующего значению обобщенного показателя $K_{\Sigma} = 1,0$;

- наибольшая универсальность идеального эталона, так как он может быть в равной мере применен к любой из машин, аналогичных оцениваемой, обеспечивая при этом сопоставимость результатов;

- наибольшая доступность данных о наилучших показателях, достигнутых на зарубежных машинах общего назначения (прежде всего по рекламным сообщениям).

Следует отметить, что выбор исходных аналогов играет важную роль при всех способах назначения эталона. Накопленный в двигателестроении опыт позволяет сформулировать ряд требований, соблюдение которых необходимо при подборе отечественных и зарубежных аналогов. Это:

- одинаковая область применения аналога и оцениваемого двигателя;

- близкие значения классификационных показателей (различия по номинальной мощности и частоте вращения коленчатого вала не должны превышать 30 %);

- параметрическая сопоставимость аналогов и оцениваемого двигателя (необходимо приведение сравнительных показателей к сопоставимому виду - в первую очередь это касается таких показателей, как мощность, удельный эффективный расход топлива, удельная масса, ресурс и др.);

- полнота и достоверность информации об аналогах, включая сроки поставки и проведение сервисного обслуживания.

Следовательно, наиболее приемлемым для оценки качества машин представляется применение

гипотетического эталона, сочетающего в себе наилучшие значения по каждому из показателей. Такой эталон объективен, состоятелен, универсален и удобен в расчетах, а проблема подбора объективного аналога для сопоставления качественных показателей оцениваемой машины методически не представляет каких-либо принципиальных затруднений. Трудности связаны лишь с недостатком информации и необходимостью приведения имеющейся информации к сопоставимому виду.

Авторами были отобраны основные показатели судовых малоразмерных дизелей с диаметром цилиндра ≤ 100 мм (агрегатная мощность, среднее эффективное давление, частота вращения коленчатого вала, средняя скорость поршня, удельные расходы топлива и масла, масса, габаритные размеры, ресурс) наиболее известных фирм США, Великобритании, Японии, Швеции, Франции, Финляндии, Чехии и др., которые могут быть использованы в качестве аналогов по своим классификационным данным и времени постановки на производство. В качестве оцениваемого был принят перспективный судовой дизель 4ЧН9,5/11, разрабатываемый совместно ОАО «Завод "ДАГДИЗЕЛЬ"» и ФГУП НЦ «НАМИ» (номинальная мощность $N_{e\text{ном}} = 75$ кВт; номинальная частота вращения коленчатого вала $n_{\text{ном}} = 3000$ мин⁻¹). С целью улучшения функциональных показателей судовых дизелей типов Ч8,5/11 и Ч9,5/11, без кардинального изменения их конструкции, технологии изготовления и без замены материалов основных элементов, Лаборатория проблем моторной энергетики (ЛПМЭ) в г. Астрахани (совместная Института физики Дагестанского научного центра РАН и Астраханского государственного технического университета – АГТУ) по согласованию с производителем этих типов дизелей ОАО «Завод "ДАГДИЗЕЛЬ"» и в соответствии с основными требованиями правил Российского морского регистра судоходства к судовым дизелям [5] произвела работы по форсированию дизеля 4Ч9,5/11 по среднему эффективному давлению путем газотурбинного наддува [4].

Ряд попыток форсировать данные двигатели за счет газотурбинного наддува, предпринятых в 70-х и 80-х годах прошлого века, по разным причинам не состоялись. В настоящее время ОАО «Завод "ДАГДИЗЕЛЬ"» ведет работы по созданию нового форсированного двигателя. Объектом исследования в ЛПМЭ являлся судовой дизель 4Ч9,5/11 с двухконтурной, водоводяной, комбинированной системой охлаждения (принудительная циркуляция теплоносителя в головке цилиндров и термосифонная в блоке) и вихрекамерным смесеобразованием. На двигатель был установлен турбокомпрессор ТКР-6 со всеми необходимыми коммуникациями. На рис. 1 показан испытательный стенд на базе модернизированного дизеля 4ЧН9,5/11. Тормозным устройством являлся



Рис. 1 Испытательный стенд на базе дизеля 4Ч9,5/11, модернизированного в дизель 4ЧН9,5/11

генератор постоянного тока П-81, нагружаемый пакетом тепловых электрических нагревателей. Стенд был оборудован штатным набором контрольно-измерительных приборов. Для исследования и анализа внутрицилиндровых процессов стенд был оборудован измерительным комплексом для снятия индикаторных диаграмм. На рис. 2 представлен разрез головки цилиндров с местом установки (вместо штатной свечи накаливания) датчика динамического давления производства ООО «Глобалтест» модели PS01. Индикаторные диаграммы, находящиеся в файлах, созданных при помощи программного продукта Oscilloscope PCSU1000, были в соответствии с тарифовочной диаграммой датчиков переведены в программу Microsoft Excel 2007. В результате обработки ею данных строится индикаторная диаграмма (как свернутая, так и развернутая).



Рис. 2 Разрез головки цилиндров с датчиком динамического давления

Экспериментальная индикаторная диаграмма представлена на рис. 3. Для сравнения, на рис. 4 показана индикаторная диаграмма дизеля Ч9,5/11. В табл. 1 и 2 приведены показатели рабочего процесса

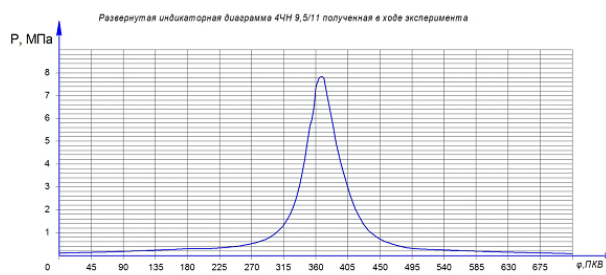


Рис. 3 Развернутая индикаторная диаграмма двигателя ЧН9,5/11

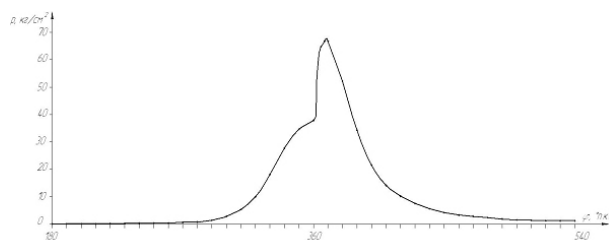


Рис. 4 Индикаторная диаграмма двигателя Ч9,5/11

дизеля 4ЧН9,5/11 при работе на режимах нагрузочной и винтовой характеристик. Номинальная эффективная мощность серийного судового вихрекамерного дизеля 4Ч9,5/11 – 22 кВт при частоте вращения коленчатого вала 1500 мин^{-1} и удельном эффективном расходе топлива – $0,279 \text{ кг/(кВт·ч)}$. Эффективная мощность дизеля 4ЧН9,5/11 составляет 27 кВт ($n = 1500 \text{ мин}^{-1}$) при удельном эффективном расходе топлива – $0,24 \text{ кг/(кВт·ч)}$. Мощность в 27 кВт была принята по соображениям поддержания на приемлемом уровне внешних показателей двигателя – температур и давления воды и масла, температур отработавших газов, температур цилиндровой втулки и клапанов при его исходной серийной комплектации. Фактически дизель развивал мощность в 30 кВт и мог развить и большую мощность, но при этом стали проявляться дефекты, связанные с недостаточной жесткостью элементов остова, недостаточной производительностью насосов системы охлаждения и другие факторы.

Таблица 1
Показатели двигателя на режимах нагрузочной характеристики

Показатель	Режим				
	х.х.	25%	50%	75%	100%
Эффективная мощность N_e , кВт	0	6,75	13,5	20,3	27
Среднее эффективное давление p_e , МПа	-	0,17	0,34	0,52	0,69
Часовой расход топлива, G_m , кг/ч	1,46	2,39	3,56	4,75	6,5
Удельный эффективный расход топлива, g_e , кг/(кВт·ч)	-	0,354	0,264	0,234	0,24

Таблица 2
Показатели двигателя на режимах винтовой характеристики

Показатель	Режим		
	50%	75%	100%
Частота вращения n , об/мин	1190	1360	1500
Эффективная мощность N_e , кВт	17	22,4	27
Среднее эффективное давление p_e , МПа	0,549	0,633	0,687
Часовой расход топлива, G_m , кг/ч	3,67	4,77	6,5
Удельный эффективный расход топлива g_e , кг/(кВт·ч)	0,216	0,213	0,240

Как принято в мировой практике, в согласии с требованиями квалитметрии, оценка коэффициентов весомости показателей качества была осуществлена экспертным методом. Экспертная комиссия, состоящая из авторов и ведущих технических специалистов предприятия-изготовителя, исходя из назначенных квалификационных данных, условий производства и эксплуатации, а также конъюнктуры рынка, оценила значимость показателей качества (табл. 3) судового малоразмерного дизеля (СМД).

В связи с отсутствием данных для аналогов по всем показателям, для дальнейшего анализа использованы следующие восемь основных показателей и усредненные значения коэффициентов их весомости: удельная массовая мощность N_m , кВт/кг ($m_1 = 0,145$); литровая мощность N_l , кВт/л ($m_2 = 0,09$); удельная габаритная мощность N_b , кВт/м³ ($m_3 = 0,055$); удельный расход топлива g_e , кг/(кВт·ч) ($m_4 = 0,22$); удельный расход масла g_m , кг/(кВт·ч) ($m_5 = 0,1$); ресурс до первой переборки T_1 , ч ($m_6 = 0,07$); ресурс до капитального ремонта T_2 , ч ($m_7 = 0,06$); удельная стоимость C , руб./кВт·ч ($m_8 = 0,057$).

Отдельно следует остановиться на стоимостных показателях. Это самые закрытые данные, о которых фактически нельзя получить информацию даже из каталожных материалов производителей и которые часто раскрываются только на переговорах по заключению контрактов. А эти данные настоятельно необходимы уже на этапе начальной проработки проекта. Авторы по результатам исследований особенностей производства судовых и промыш-

Таблица 3
Экспертная оценка значимости показателей качества СМД

№ п/п	Показатели качества ДВС	Коэффициенты весомости экспонатов, m_i		
		№1 (эталон)	№2 (серийный)	№3 (проект)
1	Удельная мощность, кВт/кг	0,15	0,14	0,15
2	Литровая мощность, кВт/л	0,09	0,05	0,06
3	Удельная габаритная мощность, кВт/м ³	0,057	0,05	0,05
4	Удельный расход топлива, кг/кВт·ч	0,22	0,22	0,21
5	Удельный расход масла, кг/кВт·ч	0,073	0,1	0,12
6	Наработка на отказ, ч	0,07	0,08	0,08
7	Ресурс непрерывной работы, ч	0,04	0,05	0,05
8	Ресурс до первой переборки, ч	0,07	0,07	0,07
9	Ресурс до капитального ремонта, ч	0,06	0,05	0,05
10	Удельная стоимость, руб./кВт·ч	0,06	0,06	0,05
11	Удельная трудоемкость, н·ч/кВт·ч	0,03	0,06	0,05
12	Эргономические и эстетические показатели, балл.	0,08	0,07	0,06
13	Сумма коэффициентов $\sum_{i=1}^{12} m_i$	1,0	1,0	1,0

ленных дизелей типа Ч8,5/11 и Ч9,5/11 предложили формулу расчета стоимости C исходя из их основных функциональных показателей [6]:

$$C = K \frac{N_e^{0,073} T^{0,086} M^{0,763}}{g_e^{2,446} g_m^{1,138} S^{0,466}}, \quad (1)$$

где N_e — номинальная эффективная мощность двигателя, кВт;
 T — ресурс до первой переборки, ч;
 M — масса, кг;
 g_e — удельный эффективный расход топлива на режиме номинальной мощности, кг/(кВт·ч);
 g_m — удельный эффективный расход масла на режиме номинальной мощности, кг/(кВт·ч);
 S — серийность выпуска, в условных единицах (серийность для судовых дизелей 10, для промышленных 25 [5]);
 K — коэффициент пропорциональности, 0,023.

Результаты расчета для группы дизелей приведены в табл. 4. Показатели степеней характеризуют весомость каждого аргумента в формуле.

Подобную структуру формулы для определения стоимости при принятии решений о приобретении дизелей на стадии проектирования можно рекомендовать и для других типов двигателей. При этом средняя квадратичная погрешность модели не превышает 7%.

Показатели и соотношение заводских и расчетных цен дизелей

Модель двигателя	Значения показателей					Цена	
	N_e , Вт	T , ч	g_e , кг/кВт·ч	g_m , кг/кВт·ч	M , кг	заводская, р.	расчетная, р.
8Д6 (6Ч9,5/11)	33100	14000	0,26	0,0019	485	144000	144283
10Д6 (6ЧСП9,5/11)	44100	14000	0,263	0,0018	485	148300	148588
ДС25 (4ЧСП8,5/11)	18400	18000	0,269	0,0018	420	126000	126236
ДП30 (4Ч9,5/11)	22000	15000	0,26	0,0015	350	93600	93785
ДП31 (4Ч9,5/11)	22500	22000	0,261	0,0015	350	96000	96177

Таблица 4

Данная модель позволяет обосновать расчетным путем стоимость двигателя по заданным показателям или определить величину одного из показателей по заданной стоимости и принятым значениям остальных показателей. Для оцениваемого двигателя стоимость, определенная по формуле (1), равна 190620 р. при стоимости «идеального» двигателя 126000 р.

На основе показателей выбранных двигателей были рассчитаны удельные показатели оцениваемого дизеля, дизелей-аналогов и идеального дизеля.

Обобщенный коэффициент качества идеального гипотетического двигателя будет равен сумме коэффициентов весомости восьми учитываемых показателей ($n = 8$), т. е.

$$K_{\Sigma \dot{Y}} = \sum m_i = 0,797. \quad (2)$$

Недостающее до единицы значение суммы, равное 0,203, относится к показателям, для которых практически невозможно найти данные для аналогов (наработка на отказ, трудоемкость и др.).

Обобщенный коэффициент качества оцениваемого двигателя

$$K = N_m m_1 / N_{m3} + N_d m_2 / N_{d3} + N_r m_3 / N_{r3} + g_{e3} m_4 / g_e + g_{m3} m_5 / g_m + T_1 m_6 / T_{13} + T_2 m_7 / T_{23} + C m_8 / C_3 = 0,994, \quad (3)$$

где N – значения удельной массовой, литровой и габаритной мощности;
 g – значения удельных расходов топлива и масла;
 T – значения ресурсов;
 C – значение стоимости.

Отношение коэффициентов качества, равное

$$a = (0,203 + K_{\Sigma}) / (0,203 + K_{\Sigma 3}) = 1,198 \approx 1,2,$$

показывает, что оцениваемый двигатель по своему техническому уровню превосходит идеальный гипотетический двигатель на 20%.

Таким образом, приведенный метод сравнительной оценки качества создаваемого судового дизеля и принцип выбора эталона показал реальные конкурентные преимущества оцениваемой машины еще на стадии проектирования. Действительный же

качественный уровень будет определяться степенью соответствия реальных показателей новой машины заданным и сроком постановки ее на производство. Также можно рекомендовать применение данного метода в деятельности Российского морского регистра судоходства при постройке и модернизации морских судов и в деятельности проектных организаций для достижения оптимальных результатов в вопросе выбора судовых дизельных двигателей при разработке технической документации проектов судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бордуков В.Т. Проблемы сопоставимости параметров при сравнительной оценке отечественных и зарубежных дизелей // Двигателестроение. – 1988. – №7. – С. 37 – 39.
2. Единая методика оценки технического уровня продукции машиностроения. – М.: ГКНТ СССР, 1987. – 86 с.
3. Федьшин В.И. О выборе эталона при оценке качества ДВС // Двигателестроение. – 1980. – №7. – С. 48 – 50.
4. Дорохов А.Ф. Исследование основных эксплуатационных показателей судового дизеля при его форсировании наддувом // Научный журнал «Вестник Астраханского государственного технического университета», Серия «Морская техника и технология». – 2014. – № 4. – С. 65 – 72.
5. Правила классификации и постройки морских судов. Том 2, часть IX «Механизмы». – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2014.
6. Дорохов П.А. Анализ качества производства двигателей спасательных шлюпок и катеров. // Научный журнал «Вестник Астраханского государственного технического университета», серия «Морская техника и технология». – 2014. – № 4. – С. 65 – 72.

В.В. Коновалов
С.В. Хильченко
А.О. Архипов
В.В. Бойко
ОАО «ЗВЕЗДА»



НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ ОАО «ЗВЕЗДА»

Реализуемый в настоящее время ОАО «ЗВЕЗДА» комплексный проект предполагает создание на площадке предприятия в г. Санкт-Петербург новых мощностей для серийного производства современных высокооборотных дизельных двигателей (ВОД) в мощностном диапазоне 400 – 1700 кВт и объеме до 1800 единиц в год, а также дизель-генераторов (ДГ) на их базе.

Разработка конструкторской документации, проведение испытаний, сертификация и постановка продукции на производство выполняются ОАО «ЗВЕЗДА» в соответствии с Федеральной целевой программой «Национальная технологическая база» по подпрограмме «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011 – 2015 гг. дизельных двигателей и их компонентов нового поколения».

Разработка конструкции ВОД и их ключевых компонентов выполняется в партнерстве с известной австрийской инжиниринговой компанией AVL List GmbH с привлечением передовых инновационных технологий, отечественной академической и вузовской науки.

Основные цели создания нового типоразмерного ряда конкурентоспособных ВОД указанных мощностей с перспективными потребительскими свойствами следующие:

- обеспечение экологических характеристик под требования как минимум до 2022 г.;
- экономия углеводородного топлива за счет улучшения экономичности;
- снижение затрат на обеспечение жизненного цикла объекта применения за счет улучшения экономичности, повышения моторесурса и снижения трудоемкости обслуживания при умеренном уровне цены;
- повышение привлекательности для потребителя за счет упрощения внешних систем, обеспечения обслуживания и ремонта;
- обеспечение широких возможностей интегрирования в объекты применения путем использования в присоединениях элементов и размеров, соответствующих международным стандартам;

- обеспечение конкурентоспособной себестоимости продукции в совокупности с высокими потребительскими характеристиками;
- обеспечение технических заделов для дальнейшего развития конструкции на ближайшие 25 – 30 лет.

1. ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА СОЗДАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

При разработке рабочего проекта были использованы самые передовые конструктивные решения, позволяющие обеспечить требования ТЗ и возможность дальнейшей модернизации:

- нормы экологии – стандарт IMO Tier 3 (дата их вступления перенесена на 2021 г.) для судовых двигателей и дизель-генераторов судового назначения. Для стационарных дизель-генераторов, а также для двигателей автомобильного и железнодорожного транспорта будут выполняться нормы стандарта EPA Tier 2 с возможностью перехода на нормы стандарта EPA Tier 4 final с помощью системы доочистки выхлопных газов SCR без переоборудования двигателя;
- блок-картерная конструкция остова из серого чугуна, обеспечение возможности применения в качестве материала вермикулярного чугуна при дальнейшей форсировке;
- индивидуальные головки цилиндров из высокопрочного чугуна;
- расчет базовых элементов конструкции на максимальное давление сгорания до 260 бар;
- V-образная компоновка цилиндров, угол развала – 90 град;
- двухступенчатая система газотурбинного надува с регулируемыми турбокомпрессорами;
- система топливоподачи типа Common Rail с электронным управлением. Давление впрыска топлива – до 2500 бар;
- система рециркуляции отработавших газов (EGR);
- полная агрегатированность конструкции;

- единый распределительный вал для привода топливных насосов высокого давления и клапанного механизма;
- интегрированный фронтальный модуль с разнесением элементов водомасляной системы и группы приводов в отдельные корпуса;
- минимизация количества патрубков, труб водяной и масляной систем;
- максимальное использование компонентов от специализированных поставщиков.

По экспертному заключению будущих потребителей на настоящий период разработка по комплексу свойств является лучшей в мировой практике высокооборотного дизелестроения.

Основные технические характеристики судовых двигателей нового семейства приведены в таблице:

Параметр	Ед. изм.	Значение
Тип двигателя	Четырехтактный с турбонаддувом	
Количество цилиндров	12	
Расположение цилиндров	V	
Угол развала блоков	град	90
Диаметр цилиндра	мм	150
Ход поршня	мм	175
Частота вращения	об/мин	1900 – 2300
Мощность	кВт	1080 – 1830
Цилиндровая мощность	кВт	99 – 151
Литровая мощность	кВт/л	32,07–48,91
Цилиндровый объем	л	3,09
Объем двигателя	л	37,11
Максимальное давление цикла	бар	200
Скорость поршня	м/с	11,38 – 13,42
Ресурс до капитального ремонта	ч	5000 – 36000
Среднее эффективное давление	бар	19,73 – 25,52
Удельный расход топлива	г/кВт·ч	193 – 195
Стандарт по уровню выбросов вредных веществ	IMO Tier 3	
Длина	мм	2165
Ширина	мм	1350
Высота	мм	1850
Масса	кг	3600 – 4000

2. ПРЕИМУЩЕСТВА И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ M150 (12CH15/17,5)

Отличительными особенностями и конкурентными преимуществами двигателей судового назначения нового поколения являются:

- надежность – применение ключевых компонентов, изготовленных по передовым технологиям с использованием современных материалов, соответствие требованиям системы менеджмента качества, сертификация в РМРС и РРР;
- экономичность – топливная, масляная и в целом в расчете на стоимость жизненного цикла;
- экологичность – двигатели разрабатываются с учетом перспективных норм по экологии в соответствии со стандартом IMO Tier3;
- компактность конструкции при равных мощностных показателях;
- использование в конструкции двигателя самых передовых решений, позволяющих обеспечить конкурентоспособность и возможность дальнейшей модернизации.

При проектировании в конструкцию двигателей заложены следующие основные технические решения:

- для всех компонентов двигателя использованы стандартные, проверенные материалы. Отказ от использования специфических (экзотических) проектных решений и материалов позволяет достичь таких поставленных задач, как экономичность, гибкость, прочность, надежность и простота производства и обслуживания;
- компоновка двигателя M150 – модульного принципа, строится на базе чугунного блок-картера в V-образном исполнении;
- блок-картер – в средней силовой части;
- сервисный блок (модуль приводов дополнительных агрегатов, фильтров и теплообменников) расположен на переднем, противоположном от главного отбора мощности торце;
- модуль приводов распределительного вала и топливного насоса высокого давления, турбокомпрессоры – на стороне главного отбора мощности;
- охладители надвучного воздуха расположены сверху блок-картера;
- компоненты, требующие обслуживания (такие как фильтры топлива и масла) размещены спереди двигателя и легко доступны;
- полноопорный штампованный коленчатый вал – из высоколегированной стали с упрочненными опорными поверхностями коренных шеек и радиусами галтелей. С целью разгрузки коренных подшипников коленчатый вал оснащен противовесами;

- кривошипно-шатунные механизмы выполнены с рядом стоящими шатунами;
- система вентиляции картера – замкнутая, исключающая возможность выбросов вредных картерных газов в окружающую среду.

3. ИСПОЛЬЗУЕМАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В проекте реализована инновационная технология нисходящего проектирования от построения компоновочной 3D-схемы базового двигателя семейства M150 до детального 3D-моделирования в объеме. Это позволило провести уточненный структурный анализ и моделирование, определить все интерфейсы между компонентами двигателя, включая требования по сборке/разборке двигателя, разработать и выпустить 2D-производственные чертежи.

Основополагающими компонентами 3-х мерной модели двигателя являются скелетные модели (скелетоны). Скелетная модель определяет базовую конструкторскую информацию детали или сборочного узла: основные размеры, посадочные (монтажные) поверхности, необходимые зазоры и диапазон перемещения компонентов внутри сборочных узлов.

Реализация концепции нисходящего проектирования осуществлена в системе PTC Creo (Pro/ENGINEER), позволившей обеспечить:

- создание трехмерных объектов с возможностями детализации, позволяющими выпускать конструкторско-технологическую документацию различных уровней и сложности;
- применение каталогов по материалам и готовым изделиям;
- конвертацию трехмерных объектов из одной систему в другую с сохранением их структуры.

Общая (компоновочная) 3D-модель двигателя определяет главные конструктивные особенности разрабатываемых двигателей семейства M150, а также определяет основные размеры двигателя и служит для поддержки первоначальных расчетов, прогнозной оценки соответствия требованиям рынка и конкурентной среды.

Комплексная 3D-модель двигателя, включающая все узлы и отдельные компоненты, позволяет в любое время получить информацию о комплекте/компоновке и массе двигателя.

Созданная концептуальная модель схемы компоновки двигателя содержит спецификации и параметры управления сборкой всего изделия, дает возможность оценить реальные размеры проекта и номенклатуру создаваемых деталей. Это, в свою очередь, позволяет проанализировать общую трудоемкость процесса, количество деталей, поставщиков, используемые материалы и т.д.

С помощью скелетонов создается несущий каркас проектируемого двигателя, при котором концептуальная информация об изделии помещается на более высокий уровень, а затем распределяется на более низкие уровни структуры проекта. То есть, геометрия со скелетонов переносится на более низкие уровни сборки, в детали и под сборки для создания полной формы детали.

Конструкторская информация, сконцентрированная в схеме компоновки, ассоциативно переносится в трехмерные модели компонентами самой сборки.

Система PTC Creo (Pro/ENGINEER) позволила создать реалистичные и очень точные с геометрической точки зрения 3D-модели базового двигателя, его узлов и компонентов.

Спроектированная базовая 3D-CAD модель судового двигателя M150M в кратчайшие сроки может быть конвертирована с помощью системы PTC Creo (Pro/ENGINEER) в другие модификации семейства двигателей по применяемости.

Использование «схемы компоновки – скелетной геометрии» и каркасных моделей в системе PTC Creo (Pro/ENGINEER) позволяет значительно сократить процесс внесения изменений в конструкцию за счет автоматического прохождения изменений по всем этапам не только конструкторской (модели, сборки, чертежи, спецификации), но и технологической (проектирование технологической оснастки, разработка управляющих программ) подготовки производства.

Реализованный нисходящий метод проектирования на базе системы PTC Creo (Pro/ENGINEER) позволяет эффективно распараллелить работу над сборками между участниками процесса разработки, а использование в проекте типовых конструкций заметно сократить сроки создания серии типоразмеров и вариантов исполнения изделий.

3D-модели основных узлов и компонентов приведены на рис. 1.

В двигателях типа M150 используется электронно-управляемый впрыск топлива под высоким давлением с аккумулятором давления типа Common Rail.

В процессе впрыска используется несколько этапов (пилотный, основной и последующие впрыски) под давлением от 1600 до 2500 бар, что позволяет максимально сократить расход топлива, эмиссию вредных выбросов и твердых примесей в отработавших газах до требований стандарта IMO Tier3, а также снизить уровень шума при сгорании.

Использование 3D-модели (рис. 2) системы топливопередачи позволяет осуществлять постоянное усовершенствование двигателя для соответствия будущим экологическим нормам без необходимости внесения значительных изменений.

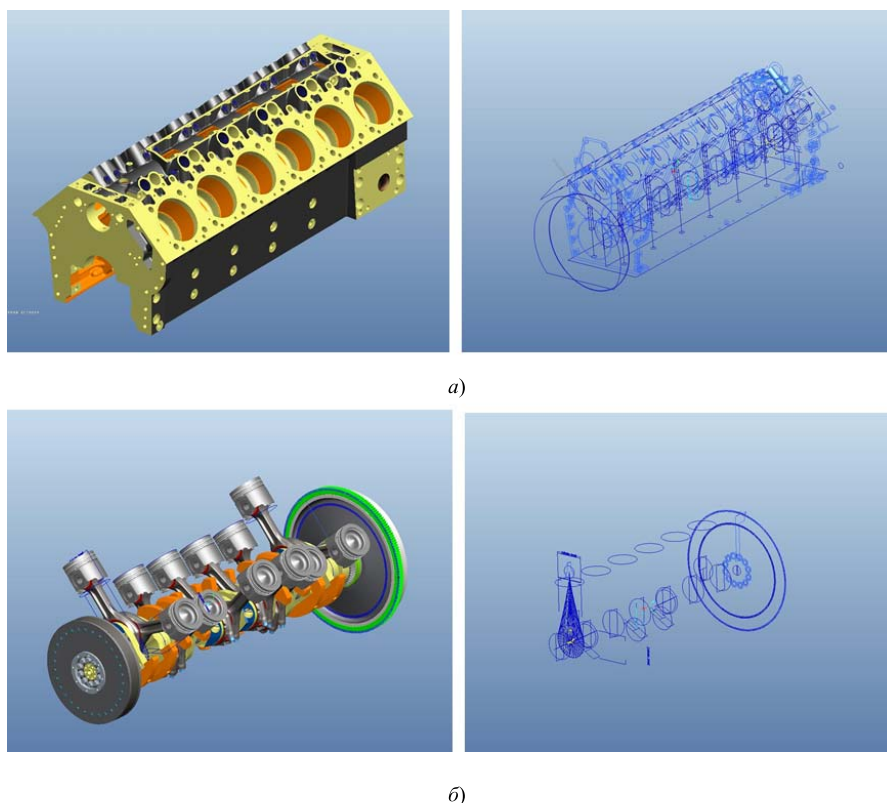


Рис. 1. Компонентные (концептуальные) 3D-модели и скелетоны
в формате PTC Creo (Pro/ENGINEER):
а – блок-картера;
б – коленчатого вала

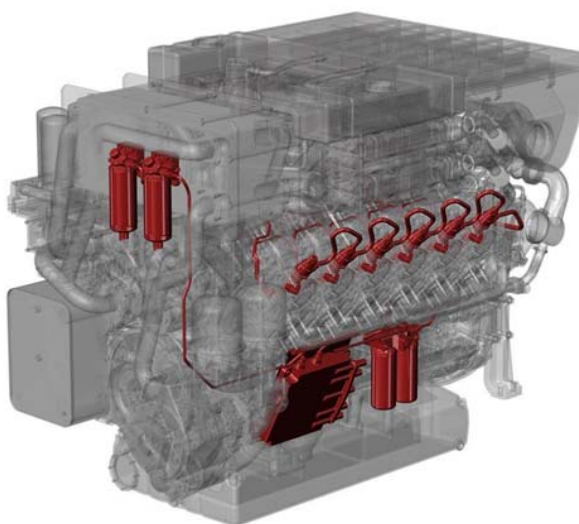


Рис. 2 3D-модель системы топливоподачи

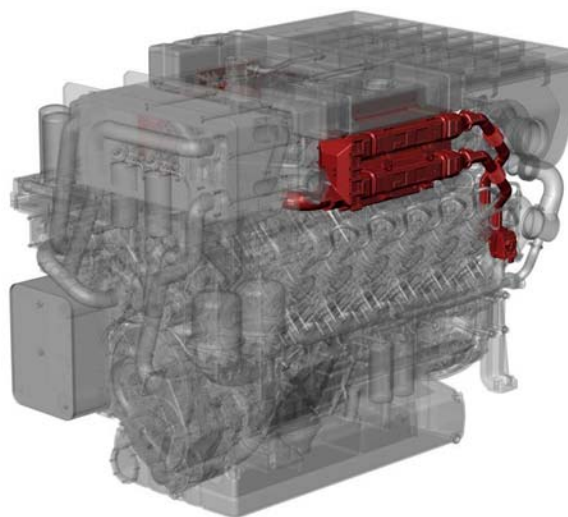
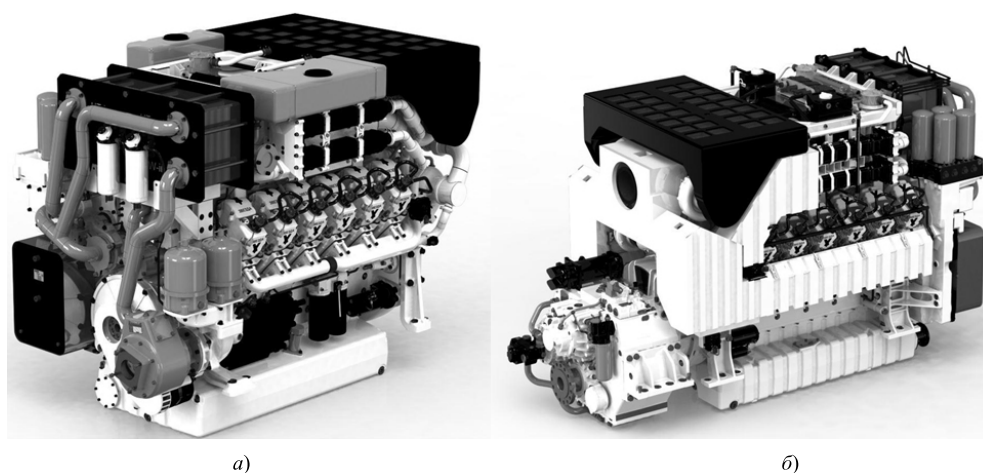


Рис. 3 3D-модель системы рециркуляции отработавших газов

Система рециркуляции отработавших газов (EGR) предназначена для отбора части отработавших газов из системы выпуска для последующего их охлаждения и направления во впускную систему с целью повышения экологических показателей двигателя.

Система EGR (рис. 3) включает в себя охладитель, клапан с электроприводом и трубопроводы.

Компонентные (концептуальные) 3D-модели базового судового двигателя приведены на рис. 4, ДГ-установок – на рис. 5.



а)

б)

Рис. 4 3D-модели:
 а – главного судового двигателя типа M150M;
 б – дизель-редукторного агрегата на его базе

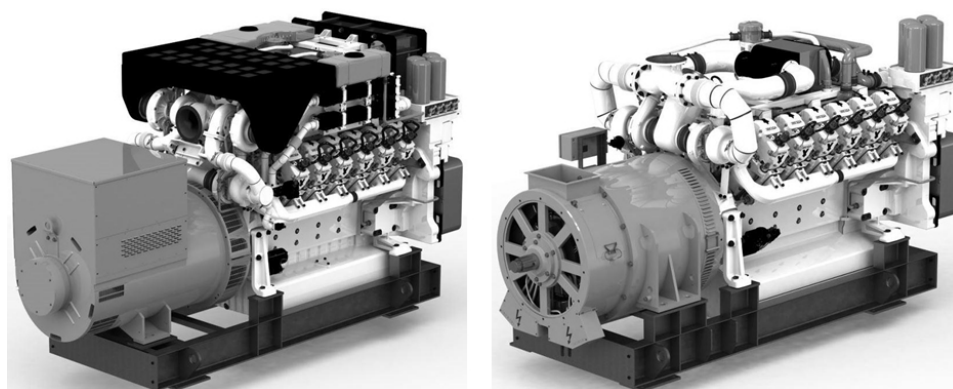


Рис. 5 3-D модели судовых ДГ-установок

4. ПЛАТФОРМА CAD/CAE ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Чтобы продукция в современных условиях обостренной рыночной борьбы оставалась конкурентоспособной, необходимо радикально уменьшить сроки ее разработки, снизить стоимость разработки и стоимость самой продукции при обеспечении ее высокого качества. Достижение данного условия при разработке дизельных двигателей становится возможным, если объединить различные инструменты моделирования в полный комплект средств анализа, интегрированный в среду CAD/CAE технологии (концепция виртуального двигателя).

Использованные ОАО «ЗВЕЗДА» при создании нового семейства дизелей типа M150 CAD/CAE технологии отличаются от традиционного процесса проектирования тем, что в ней применяются инструменты моделирования параллельно с мето-

дами быстрого макетирования. При таком подходе, в тесной связи с конструированием, новое поколение дизельных двигателей развивается за счет одновременного применения множества различных инструментов численного анализа с моментальной обратной связью с конструкцией.

Расчетные задачи выполняются сразу, как только становятся доступными все необходимые данные (геометрическая форма, физические граничные условия и др.).

Таким образом, процесс принятия решения разработчиком по концепции изделия происходит до изготовления дорогостоящих образцов. Данная технология проектирования ведет к снижению ограничений при экспериментировании, так как применение принятых решений является полностью осмысленным. При этом получается новая информация о таких характеристиках изделия (виртуального дизельного двигателя), которые трудно или даже невозможно получить экспериментальным путем.

5. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННЫХ ЗАДАЧ

В качестве иллюстрации использованной технологии кратко приведем особенности совместного расчета коленчатого вала и коренных подшипников.

В отличие от широко распространенного в практике российского двигателестроения квазистатического расчета прочности коленчатого вала по разрезной схеме, в настоящем проекте применена методика совместного упруго-гидродинамического расчета коленчатого вала, коренных подшипников и остова двигателя с учетом вынужденных колебаний взаимодействующих деталей. На рис. 6 приведена геометрическая модель остова дизеля, на рис. 7 – данные для расчета коленчатого вала, на рис. 8 – модель совместного расчета коленчатого вала, подшипников и картера.

Конечно-элементная модель остова дизеля 12ЧН15/17,5 приведена на рис. 9.

В начале расчетного исследования проводится раздельный модальный анализ остова и иденти-

фицированной модели коленчатого вала, некоторые результаты которых изображены на рис. 10 и 11.

Далее выполняется совместный упруго-гидродинамический расчет коленчатого вала, коренных подшипников и остова дизеля в рамках решения задачи о вынужденных колебаниях. При этом важно, что полученные результаты содержат вибрационную составляющую.

Таким образом, данный подход является на сегодня самым совершенным для анализа нагруженности коренных подшипников, параметров их гидродинамики и определения запасов усталостной прочности в коленчатом вале, галтели шатунной шейки и зоне масляного отверстия, анализа диаграммы изменения минимальной толщины масляной пленки в коренных подшипниках и других результатов, определяющих надежность работы дизеля.

Приведенный материал содержит лишь малую часть из общего научного и инженерного сопровождения проектирования нового дизеля М150. Тем не менее, по нашему мнению, он убедительно подтверждает преимущества использования инструментов

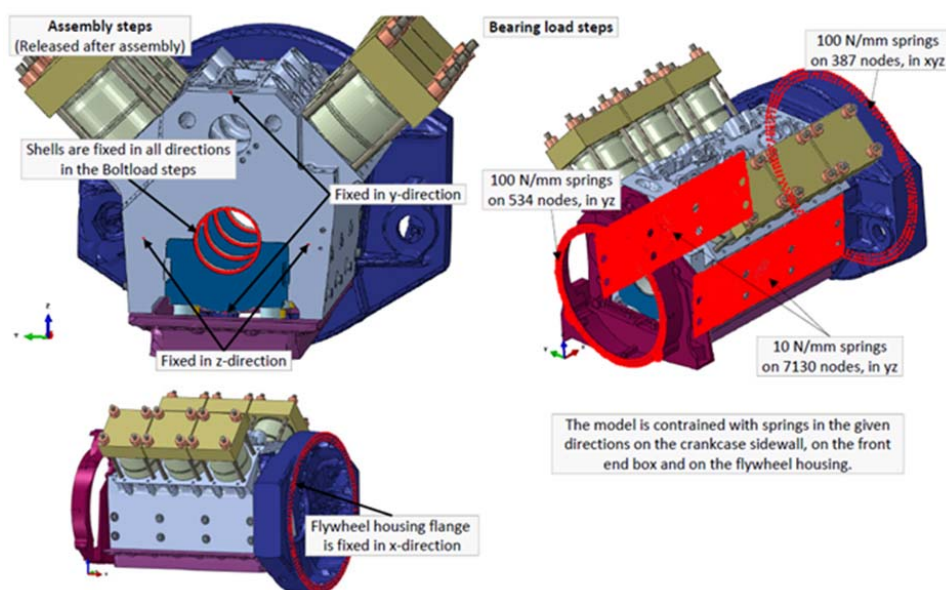


Рис. 6.

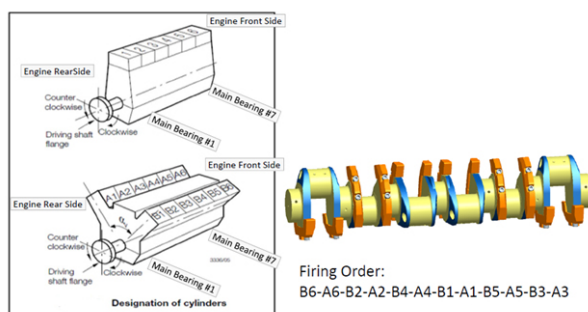


Рис. 7

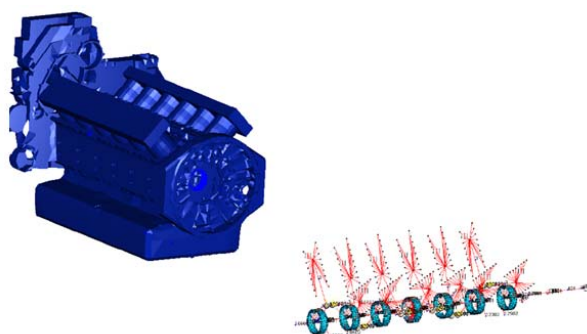


Рис. 8

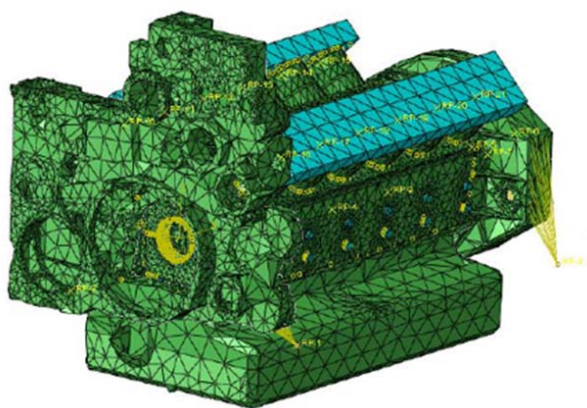


Рис. 9

специализированной CAD/CAE технологии для понимания физических явлений в проектируемом дизельном двигателе.

6. ПРИМЕНЯЕМОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ M150

Потребительские качества и технические характеристики нового семейства ВОД определяют успешное присутствие их в следующих сегментах рынка двигателей с основными параметрами:

- судовые двигатели для пропульсивных комплексов:

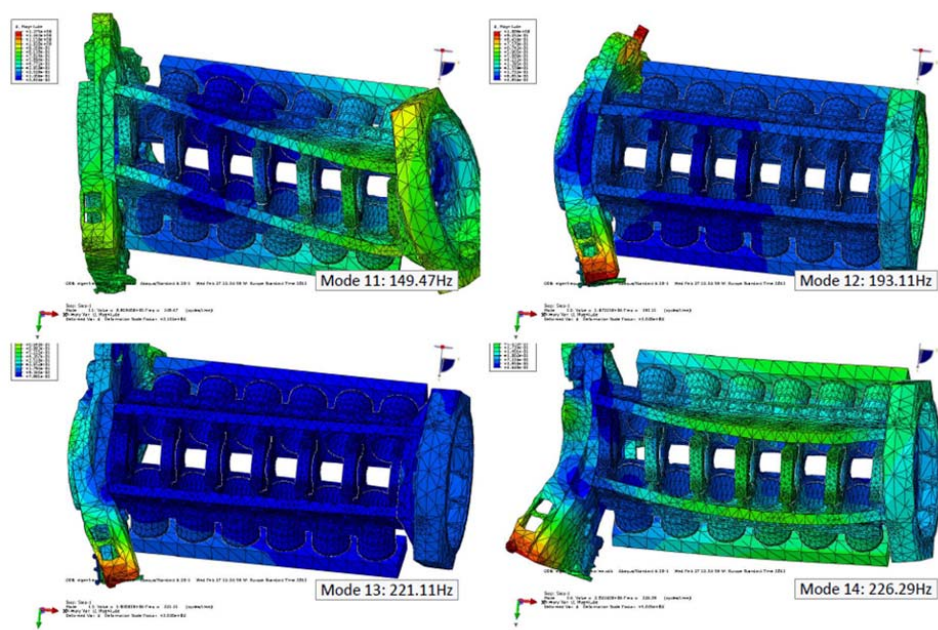


Рис. 10 Различные моды колебаний остова дизеля 12ЧН15/17,5

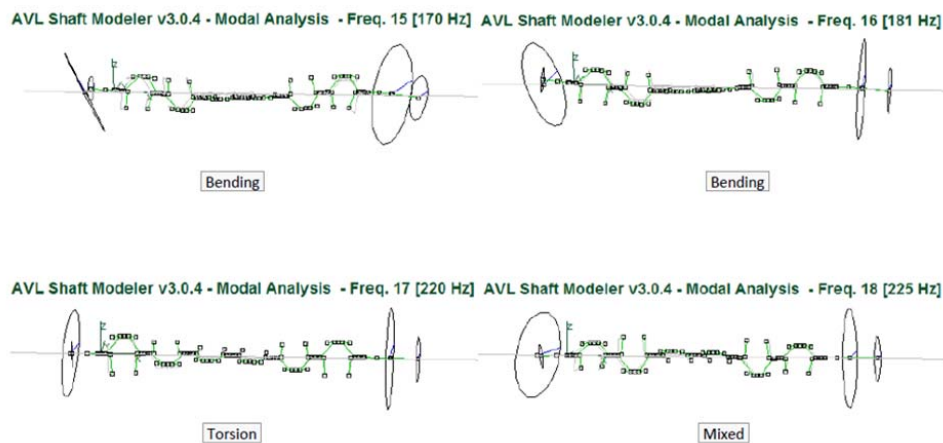


Рис. 11 Некоторые моды колебаний коленчатого вала

- экология – стандарт IMO2 / IMO3;
- 1- и 2-х ступенчатые системы турбонаддува;
- топливная система типа Common Rail с рабочим давлением до 2500 бар;
- исполнения по мощности:
 - 1830 кВт при 2300 об/мин,
 - 1650 кВт при 2250 об/мин,
 - 1440 кВт при 2100 об/мин,
 - 1080 кВт при 2100 об/мин;
- судовые двигатели для вспомогательных ДГ-установок:
 - экология – стандарт Tier 2 (IMO2 / IMO3);
 - 1- и 2-х ступенчатые системы турбонаддува;
 - топливная система типа Common Rail с рабочим давлением до 1800/2500 бар;
 - исполнения по мощности:
 - 1100 кВт при 1500 об/мин,
 - 960 кВт при 1500 об/мин,
 - 800 кВт при 1500 об/мин,
 - 630 кВт при 1500 кВт об/мин;
 - двигатели для карьерной техники:
 - экология – стандарт Tier 2;
 - 1-ступенчатая система турбонаддува;
 - топливная система типа Common Rail с рабочим давлением до 1800 бар;
 - исполнение по мощности – 800 кВт при 1900 об/мин;
 - двигатели для ДГ-установок:
 - экология – стандарт Tier 2 (IMO2 / IMO3);
 - 1- и 2-х ступенчатые системы турбонаддува;
 - топливная система типа Common Rail с рабочим давлением до 1800/2500 бар;
 - исполнения по мощности:
 - 1100 кВт при 1500 об/мин,
 - 960 кВт при 1500 об/мин,
 - 800 кВт при 1500 об/мин,
 - 630 кВт при 1500 кВт об/мин;
 - локомотивные двигатели:
 - экология – стандарт Stage 3a (Stage3b);
 - 1- и 2-х ступенчатые системы турбонаддува;
 - топливная система типа Common Rail с рабочим давлением до 1800 бар;
 - исполнения по мощности:
 - 1400 кВт при 1900 об/мин,
 - 1080 кВт при 1900 об/мин,
 - 780 кВт при 1900 об/мин,
 - 670 кВт при 1900 об/мин.

Судовые ВОД поколения M150 предназначены для применения в составе силовых установок гражданских судов внутреннего и прибрежного плавания, кораблей, катеров и судов военно-морского флота, вспомогательных судовых ДГ-установок.

В зависимости от степени форсировки двигателя будут иметь разные рейтинги нагружения, характеризующие рекомендуемые производителем режимы работы в период навигации.

Рейтинг M1

Главные судовые дизельные двигатели для пропульсивных комплексов высокоскоростных патрульных катеров, моторных яхт с различными движителями (винты фиксированного шага – ВФШ, винты регулируемого шага – ВРШ, водометы, приводы Арнесона и т.п.).

Максимальная форсировка двигателя.

Номинальная мощность 1650 кВт при 2250 об/мин.

Наработка в навигационный период не более 1000 ч.

Рейтинг M2

Главные судовые дизельные двигатели для пропульсивных комплексов скоростных пассажирских и разъездных судов, катеров и паромов, судов доставки экипажей буровых платформ, лоцманских катеров с различными движителями (ВФШ, ВРШ, водометы и т.п.).

Средняя форсировка двигателя.

Номинальная мощность 1440 кВт при 2100 об/мин.

Наработка в навигационный период не более 3000 ч.

Рейтинг M3

Главные судовые дизельные двигатели для пропульсивных комплексов водоизмещающих грузовых, рабочих, круизных, рыболовных судов, буксиров и т.п.

Форсировка двигателя для обеспечения режима наибольшего нагружения без ограничений во времени.

Номинальная мощность 1080 кВт при 1900 об/мин.

Наработка в навигационный период не ограничена.

Применяемость судовых ДГ для средств освоения океана

Судовые ДГ для различных типов судов и средств освоения шельфа.

Номинальная мощность 600–1000 кВт при 1500 об/мин (50 Гц).

Наработка в навигационный период не ограничена.

7. ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПРОЕКТАНТОВ СУДОВ

Для всех модификаций дизельных двигателей, дизель-редукторных агрегатов и ДГ нового семейства M150 выпускаются технические условия, технические описания, альбомы рисунков, каталоги деталей и сборочных единиц, компоновочные 3D-модели, проектные руководства, эксплуатационные документы.

Таким образом, создание и постановка на производство нового семейства дизельных двигателей позволит ОАО «ЗВЕЗДА»:

- сохранить лидирующие позиции в области высокооборотных дизельных двигателей различных применений;
- создать современное высокотехнологичное дизелестроительное производство;
- открывать перспективы по укреплению и расширению рынков сбыта;
- участвовать в решении стратегических вопросов возрождения и развития отечественного

судостроения, обновления всех видов флота (от ВМФ до прогулочного), промышленного и железнодорожного транспорта, малой энергетики;

- консолидировать возможности размещения заказов по созданию конкурентоспособной продукции в рамках целевых программ по развитию Российского Флота и программ импортозамещения в интересах национальной безопасности России.

В.О. Борусевич
Ф.И. Габерцеттель
А.В. Пустошный
И.Г. Фролова

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»



О РАЗВИТИИ ТРЕБОВАНИЙ К ДВИЖИТЕЛЯМ СУДОВ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

При проектировании судов ледового класса требуется предусматривать более прочный корпус, специальную форму обводов, более прочные и толстые валы и гребные винты с утолщенными лопастями. Все это делает ледовые суда существенно менее экономичными при движении на чистой воде. В то же время, необходимость круглогодичного обеспечения деятельности в Арктике и экспорта полезных ископаемых с Севера России в страны Европы, Америки и Азии приводит к необходимости работы судов как в ледовых условиях, так и при преодолении значительных дистанций по чистой воде. Для решения проблемы совмещения успешных ледовых операций во льдах и экономичности на тихой воде финскими специалистами ледового бассейна компании Aker Arctic (ранее Kvaerner Arctic) была разработана концепция судов двойного действия DAS (double acting ships) [1]. Необходимым элементом таких судов являются поворотные колонки в качестве главных движителей, так как их разворот на 180° позволяет при работе во льдах достигать максимальной тяги гребных винтов, работающих в этом случае не в реверсивном режиме, а в режиме тяги на передний ход. Также использование поворотных колонок позволяет применять новую тактику прохождения торосистых участков, когда с помощью работы колонками «вправо-влево» достигается постепенное разру-

шение торосов (либо размывом струи одной из двух колонок, работающей на реверс, либо фрезерованием). Помимо отмеченных преимуществ, колонки обеспечивают улучшение маневренности судов во льдах.

Таким образом, теоретически транспортные суда двойного действия имеют ряд преимуществ перед судами, использующими традиционный способ прохождения ледовых полей носом вперед. В настоящее время в качестве судов двойного действия следует рассматривать суда типа «Норильский Никель», «Михаил Ульянов» и ряд вновь проектируемых судов.

В то же время, движение во льдах кормой вперед связано с определенными рисками. В опыте советского ледоколостроения существовала серия ледоколов типа «Василий Прончищев» с предусмотренным в проекте носовым гребным винтом. Такие ледоколы длительное время обеспечивали, например, зимнюю навигацию в Архангельском порту. Однако уже на начальных этапах эксплуатации выявилась крайняя уязвимость носовых гребных винтов к повреждениям, и они были сняты с судов всей серии с соответствующей потерей трети мощности ледоколов. Поэтому вопрос взаимодействия гребных винтов при прохождении ледовых участков гребными винтами вперед требует особого рассмотрения.

Крайне оптимистично выглядит опыт эксплуатации первой серии судов двойного действия –

«Норильский Никель». В 2014 г. в Санкт Петербурге состоялся семинар компании АВВ, на котором выступил капитан одного из судов серии, отметивший в своем выступлении следующее:

- за 4 года эксплуатации не было ни одной поломки колонок и их гребных винтов;
- судно в течение минимум 6 месяцев в год работает с обязательным прохождением дистанции, покрытой льдом; при этом в осенний период около 3 месяцев относительно легкий лед проламывается 90 % времени носом вперед, в 3 весенних месяца 90 % времени ледовые поля проходятся кормой вперед;
- для обеспечения управляемости во льдах ход судна кормой вперед должен составлять около 9 уз, однако при подходе к торосам капитан снижает скорость до 3 – 4 уз с соответствующей потерей управляемости.

К сожалению, результаты обширных натурных испытаний, проведенных на судне во время первого арктического рейса силами компаний Aker Arctic и АВВ, до настоящего времени имеют статус конфиденциальной информации. Поэтому для анализа условий работы движителей кормой вперед Крыловским государственным научным центром (КГНЦ) под руководством Н.В. Васильева были проведены натурные испытания научно-экспедиционного судна «Академик Тreshников» во время его первого антарктического рейса [2].

Результаты мониторинга нагрузок на валах, скорости судна и оборотов гребного вала во время выполнения ледовых операций позволяют сделать следующие выводы:

- при следовании судна кормой вперед в ровном льду, соответствующем по толщине ледовому классу (80 см), при работе электромотора на режиме примерно 50 % максимально допустимого момента, момент во время взаимодействия со льдом не превышал допустимого, хотя и был близок к нему;
- такой же вывод получен по итогам измерений во время передвижения в канале носом вперед при случайных контактах винта со льдом;
- наибольшие перегрузки по моменту получены при выходе судна кормой вперед через многослойную кромку ледяного канала (в том числе при развороте выполнением маневра «Звездочка»). В этом случае превышение максимально допустимого краткосрочного момента на валу составляли около 2,5 раз. Даже при работе набегам носом вперед в таком же льду перегрузки были меньше и составляли 1,5 раза.

Таким образом, выявлена существенная зависимость реакций на взаимодействие движителей со льдом от режимов работы. Из приведенных данных следует, в частности, что не рекомендуется работа набегам на судах низких ледовых классов. Также

работа в режиме заднего хода может быть рекомендована только судам с высокими ледовыми классами **Arc6**, **Arc7** и выше в классификации Российского морского регистра судоходства.

Результаты испытаний подтвердили важность правильного выбора режимов эксплуатации судов в соответствии с выбранным ледовым классом. Разрешенные режимы эксплуатации должны играть в ледовой классификации движителей такую же важную роль, как и толщина льда.

В имеющихся в открытом доступе рекламных материалах по концепции DAS подчеркивается, что при работе кормой вперед лед будет в основном миновать гребные винты на колонке, проходя сверху и сбоку вдоль поверхности корпуса. Результаты испытаний показали, тем не менее, что при прохождении торосов и при контактах с намерзшим вдоль кромок старых ледовых каналов слоем льда соприкосновения гребного винта со льдом неизбежны.

Данные испытаний показывают, что для судов двойного действия необходимо учитывать возможность сценариев со значительными перегрузками пропульсивного комплекса в режимах ледовых операций, соответствующих скорее ледоколам. Это, строго говоря, может вводить существенные ограничения на применение концепции DAS. В соответствии с полученными результатами, суда двойного действия должны обладать достаточно высоким ледовым классом (успешно эксплуатируются и проектируются суда двойного действия «Норильский Никель» класса **Arc7** и «Михаил Ульянов» класса **Arc6**).

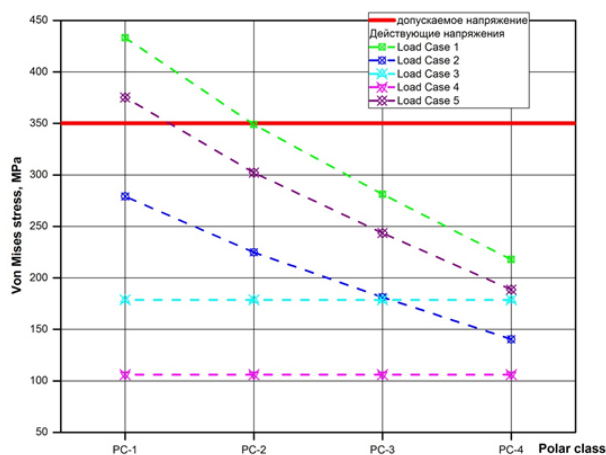
Однако в целом следует отметить, что имеющиеся на сегодня опыт эксплуатации таких судов и объем научных исследований по определению величины расчетных нагрузок на элементы винторулевого комплекса не достаточны для создания единых для Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО) разделов правил.

Представленные в докладе АВВ материалы показали, что для судна «Норильский Никель» используются практически неограниченные режимы работы гребных винтов, скорее присущие ледоколам (в частности, скорости работы во льдах до 10 уз). Для анализа прочности гребных винтов судна были выполнены расчеты по методу конечных элементов в соответствии с процедурами, предусмотренными нормативными документами Регистра и МАКО. Результаты расчетов показали, что гребные винты т/х «Норильский Никель» соответствовали полярному классу РС 2, что превышает ледовый класс судна. По-видимому, при этом учитывалось, что это было первое судно серии, и учитывалось наличие только одной установки Azipod. Отсутствие дублирования пропульсивных установок для ледовых судов может считаться опасным. Увеличение же толщины лопастей

сопровождается потерей КПД примерно на 1,5% по сравнению с достижимой величиной КПД для данного гребного винта при строгом соблюдении минимальных требований класса.

На рисунке приведены результаты расчета максимальных значений эквивалентных напряжений, возникающих в лопасти гребного винта судна «Норильский Никель» под действием ледовых блочных нагрузок, приложенных в соответствии с методиками DNV и МАКО для различных ледовых классов.

Из рисунка видно, что при наибольшей ледовой нагрузке, соответствующей сценарию нагружения Load Case 1 для полярных классов до PC 2 включительно, напряжения в лопасти гребного винта судна «Норильский Никель» не превосходят допустимой величины 350 МПа [4].



Эквивалентные напряжения в лопасти гребного винта судна двойного действия «Норильский никель» при нагрузках, соответствующих полярным классам PC 1 – PC 4

Одним из возможных подходов при классификации судов двойного действия является классификация кормовой оконечности и пропульсивного комплекса по ледовому классу, превышающему класс судна в целом. Такая методика, в частности, была предложена классификационным обществом Lloyd's Register [3]. Однако следует принимать во внимание, что повышение ледового класса для движителей всегда связано с потерями КПД.

В последнее время все более активно со стороны заинтересованных сторон предъявляются вибрационные требования, связанные с кавитацией гребных винтов на чистой воде. При проектировании винтов следует учитывать, что увеличение толщины кромок, позволяющее избегать их смятия и отгиба, может спровоцировать усиленную кавитацию по сравнению с гребными винтами судов, не имеющими ледового класса. Следовательно, может возникнуть противоречие между двумя группами требований – по прочности и по санитарным нормам (вибрациям).

Важным дополнительным ограничивающим фактором по вибрационным санитарным нормам является невозможность применения ледовых гребных винтов с большой или даже средней саблевидностью. В соответствии с опытом КГНЦ, могут быть сформулированы следующие основные рекомендации по ограничениям на саблевидность:

- не допускается применение лопастей для реверсивных гребных винтов с углом саблевидности свыше 5° для ледоколов и судов ледового плавания классов **Arc 7–Arc 9**;
- не допускается применение саблевидности для лопастей реверсивных гребных винтов свыше 10° для судов классов **Arc 4–Arc 6**. Проверка прочности лопастей для данных классов при саблевидности свыше 5° должна осуществляться по методу конечных элементов;
- при применении на судах всех ледовых классов саблевидных лопастей работа гребных винтов на реверс во льдах связана с повышенным риском повреждений. Также с повышенным риском повреждений связана работа реверсивных винтов для классов **Ice 1–Ice 3** при применении лопастей с углом саблевидности свыше 15° ;
- для неревверсивных гребных винтов указанные ограничения значений углов саблевидности для всех ледовых классов могут быть увеличены на 5° .

Таким образом, повышение ледового класса ведет к снижению возможности удовлетворения требованиям по пульсациям давлений и вибрациям. Учитывая, что приоритет при проектировании винтов и разработке требований нормативных документов должен быть отдан вопросам безопасности, в качестве выхода из данного противоречия может быть рассмотрен следующий аспект.

Суда ледового плавания обладают, как правило, избыточной мощностью на полном ходу в чистой воде, поэтому нормирования вибраций и кавитации для полного хода, как это делается для судов не ледового класса, в данном случае могут привести к нерациональному ужесточению требований. Целесообразным является рассмотрение вопроса выбора скорости судна, для которой должны выдвигаться требования по вибрациям или пульсациям давлений для ледовых судов.

ВЫВОДЫ

Уточнение требований к движителям судов двойного действия, с учетом их быстрого распространения, является актуальным вопросом, решение которого связано с необходимостью получения подробной информации о взаимодействии движителя со льдом. Наиболее надежным путем получения такой информации являются натурные испытания.

Должна обеспечиваться совместимость всех требований, включая пропульсивные и санитарные, с требованиями ледового класса, при этом в качестве приоритета должна сохраняться безопасность работы во льдах (живучесть движителей).

Суда ледового плавания обладают, как правило, избыточной мощностью на полном ходу, поэтому нормирование вибраций и кавитации для полного хода может привести к ужесточению требований. Вопрос скорости судна, для которой должны выдвигаться требования по вибрациям или пульсациям давлений, является предметом отдельного рассмотрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Backstrom M., Juumma K., Wilkman G. New Icebreaking Tanker Concept for the Arctic (DAT). Proceeding of POAK 95, Murmansk, Russia, 1995.
2. Pustoshny A.V., Vasiljev N.V., Shaposhnikov V. M. Some Aspects of Regulation for Propulsors of Ice-Class Ships. Arctic Shipping Forum, Хельсинки, 2014. Electronic Publication.
3. Hindley R., Tustin R. Method and Approaches for the Classification of the Ship Design for Stern First Operation in Ice. Lloyd's paper ICETECH-08-113-RF.
4. Правила классификации постройки морских судов. Том 3. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2011.

К.Е. Сазонов

д-р техн. наук, доц.,
ФГУП «Крыловский
государственный научный центр»



ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ТЯГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СУДНА, ДВИГАЮЩЕГОСЯ ЗАДНИМ ХОДОМ ВО ЛЬДАХ

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач совершенствования правил Российского морского регистра судоходства является разработка требований к выбору минимальной мощности судов, эксплуатируемых в ледовых условиях. Современные требования должны отражать изменения, происходящие в структуре арктического флота, тоннаже судов, а также в условиях их эксплуатации во льдах. При определении уровня минимальной мощности, необходимого для безопасной эксплуатации судна во льдах, возобладал подход, основанный на определении базовых сценариев движения судна и ледового сопротивления для этих сценариев. Полученное с помощью расчетов или проведения модельных испытаний в ледовом бассейне ледовое сопротивление отождествляется с тягой движительного комплекса, что позволяет перейти к определению требуемой мощности с помощью расчетных формул типа

$$N_{min} = f_1 f_2 K_e \frac{(f_3 R_l)^{1,5}}{D} \text{ кВт}, \quad (1)$$

где f_i – коэффициенты, учитывающие тип гребного винта, число движителей и наличие насадок;
 K_e – коэффициент, учитывающий характеристики движительного комплекса судна;
 R_l – ледовое сопротивление в кН;
 D – диаметр гребного винта, м.

Такой подход реализован при создании Финско-Шведских правил плавания судов в Ботническом заливе [1], а также в ряде отечественных работ [2].

В настоящее время новые суда активного ледового плавания часто проектируются для использования технологий «двойного действия» или «пушинг-пулинг» [3], которые основаны на постоянном или частичном движении судна кормой вперед в ледовых условиях. В этих условиях происходит постоянное взаимодействие гребных винтов со льдом, что может привести к изменению тяговых характеристик движительного комплекса. Целью данной статьи является выяснение характера этих изменений, а также вопроса о необходимости

их учета при нормировании уровня минимальной мощности судов ледового плавания.

1. ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СО ЛЬДОМ

Анализу взаимодействия гребного винта со льдом посвящено большое количество работ, например [4], и многие другие. Из них следует, что существует два основных режима взаимодействия движителя со льдом: удар с отбрасыванием лопастью небольших фрагментов льда и фрезерование. Последний процесс приводит к возникновению на гребном винте ледовых сил и моментов, которые действуют помимо гидродинамических. Именно эти ледовые силы и моменты могут приводить к изменениям тяговых характеристик движительного комплекса. Эксперименты по фрезерованию блока льда моделью гребного винта на воздухе [5, 6] показывают, что происходит возрастание как момента сопротивления вращению, так и упора, развиваемого гребным винтом.

Для дальнейшего рассмотрения важным является момент возрастания упора гребного винта в процессе фрезерования льдины. При этом ледовый упор и момент на винте связаны некоторой зависимостью, которую в первом приближении можно представить следующей формулой:

$$P_I = k \frac{M_I}{D}, \quad (2)$$

где k – некоторый коэффициент, определяемый по результатам экспериментов или расчетов;
 D – диаметр винта.

Определение коэффициента k по результатам тестов на фрезерование на воздухе не совсем корректно, так как в этом случае льдина не может отклоняться от гребного винта в радиальном направлении, что, скорее всего, происходит в реальных условиях [7]. Однако эта величина может быть использована в качестве верхней оценки, которая наилучшим образом подходит к условиям движения судна кормой вперед во льдах, близких к предельным. По данным, приведенным в [6], k лежит в пределах от 2,2 до 2,7. В приводимых ниже расчетах принято, что $k = 2,5$.

2. ВЛИЯНИЕ ЛЬДА НА РАБОТУ ДВИЖИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Задача о влиянии процессов взаимодействия движительного комплекса со льдом на его работу рассматривалась неоднократно [8, 9]. Однако в этих и других работах основное внимание уделялось изучению снижения частоты вращения гребного

винта, а тяговые характеристики движительного комплекса не анализировались.

В этих работах анализ кинематических процессов, происходящих при взаимодействии гребного винта со льдом, осуществлялся на основе решения дифференциального уравнения, описывающего систему «двигатель-вал-гребной винт». Для рассматриваемой в данной статье задачи решение дифференциального уравнения не требуется. Достаточно рассмотреть стационарные режимы движения судна во льдах при наличии и отсутствии взаимодействия льда, притопленного корпусом судна, с движителями.

При взаимодействии со льдом движителя, при условии постоянства подводимой к нему мощности, происходит неизбежное снижение частоты вращения гребного винта n . При этом характер изменения упора движителя не столь очевиден. Со снижением частоты вращения гидродинамический упор уменьшается пропорционально n^2 . В то же время в соответствии с формулой (2) возрастает ледовый упор. Величина ледового момента сопротивления вращению также зависит от частоты, так как этот момент является некоторой возрастающей функцией поступи J [8]. Поэтому при переходе от одного стационарного состояния, характеризующегося отсутствием взаимодействий винта со льдом, к другому, с постоянным взаимодействием, происходит изменение величины действующего ледового момента. Условие, при котором происходит падение упора движителя, можно сформулировать следующим образом:

$$k M_I(J_2) + K_T(J_2) \rho n_2^2 D^4 < K_T(J_1) \rho n_1^2 D^4, \quad (3)$$

где K_T – гидродинамический коэффициент упора гребного винта;
 ρ – плотность воды;
 J_1, J_2 – поступи, вычисленные при значениях частоты вращения движителя и скорости движения судна (1 – при отсутствии взаимодействия, 2 – при наличии постоянного взаимодействия).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И ИХ АНАЛИЗ

Ниже приводятся результаты численного исследования изменения тяговых характеристик движительного комплекса применительно к одному из судов ледового плавания. Анализируются решения стационарных уравнений движения, записанных для двух указанных выше ситуаций в предположении подвода постоянной мощности к движителю.

Для движения без взаимодействия движителей со льдом:

$$\begin{cases} p(1-t)K_T(J_1)\rho n_1^2 D^4 = c_1 + c_2 V_1 + 0,5 C_{xT} V_1^2 S \\ \frac{N}{2\pi n_1} = K_Q(J_1)\rho n_1^2 D^5 \end{cases} \quad (4)$$

Для движения при постоянном взаимодействии движителей со льдом:

$$\begin{cases} p(1-t)K_T(J_2)\rho n_2^2 D^4 + kM_A(J_2) = c_1 + c_2 V_2 + 0,5 C_x \rho V_2^2 S \\ \frac{N}{2\pi n_2} = K_Q(J_2)\rho n_2^2 D^5 + M_I(J_2) \end{cases} \quad (5)$$

В выражениях (4) и (5):

p – число движителей;
 t – коэффициент засасывания;
 C_x – коэффициент гидродинамического сопротивления судна;
 S – площадь смоченной поверхности;
 c_1, c_2 – коэффициенты в линейной аппроксимации зависимости ледового сопротивления судна от скорости.

При проведении расчетов воспользуемся представлением ледового момента как некоторой части от гидродинамического момента $M_I = m M_g$, где M_g – гидродинамический момент. Возможны два подхода к определению ледового момента:

$$M_I = m M_g(n_2) \quad (6)$$

и

$$M_I = m M_g(n_1). \quad (7)$$

При первом подходе ледовый момент определяется по отношению к частоте вращения движителя, которая установилась при постоянных ледовых воздействиях. Второй подход базируется на частоте вращения, характерной для отсутствия взаимодействий. Именно второй подход использовался для описания ледовой нагрузки на валопроводы судов ледового плавания [10].

Результаты расчетов зависимостей, полученных при использовании формул (6) и (7), представлены на рис. 1 и 2.

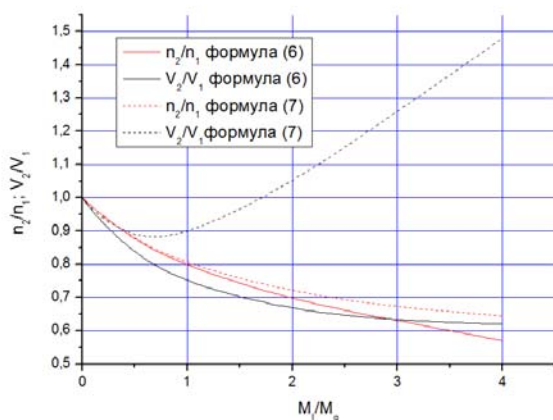


Рис. 1 Зависимости изменения относительных частоты вращения движителя и скорости движения судна от относительной величины ледового момента, действующего на движитель

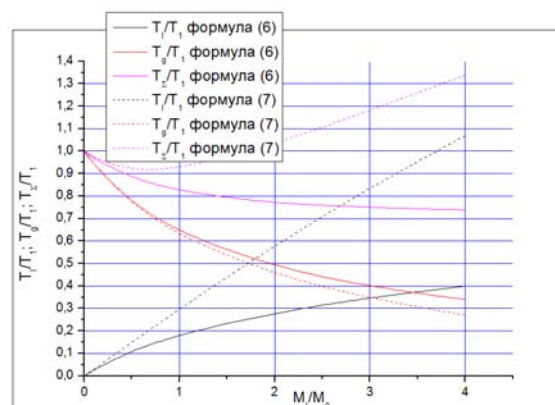


Рис. 2 Зависимости изменения относительных тяг движительного комплекса от относительной величины ледового момента, действующего на движитель:

T_1 – ледовая составляющая тяги комплекса;
 T_g – гидродинамическая составляющая тяги комплекса;
 T_Σ – суммарная тяга комплекса

Результаты расчетов убедительно показывают, что тяговые характеристики движительного комплекса изменяются при постоянном взаимодействии со льдом на стационарных режимах движения. При постоянстве подводимой к движителю мощности при любом воздействии наблюдается снижение частоты вращения. Тяговые характеристики могут как снижаться, так и возрастать в зависимости от уровня действующей ледовой нагрузки. Об этом свидетельствуют результаты расчетов по формулам (6) и (7). В любом случае при определенном уровне ледового момента, действующего на движитель, происходит превышение ледовой составляющей тяги над гидродинамической (см. рис. 2). Быстрый рост ледовой составляющей тяги может привести к замедлению падения скорости движения судна, а затем к ее возрастанию. Резкое возрастание скорости, как это показано на рис. 1, вероятнее всего не реализуемо, так как стационарное движение судна с постоянным превышением ледового момента над гидродинамическим более чем в 2 раза следует считать маловероятным.

При относительно малом уровне воздействия льда на движительный комплекс всегда наблюдается снижение тяговых характеристик движительного комплекса примерно на 8–10 %, при этом выполняется неравенство (3). Это снижение тяговых характеристик необходимо учитывать при назначении минимального уровня мощности. Например, в формулу (1) для судов, двигающихся кормой вперед или эксплуатируемых на мелководье, необходимо ввести дополнительный коэффициент $f_4=1,08-1,1$, учитывающий это обстоятельство. Итоговая зависимость тогда может выглядеть следующим образом:

$$N_{\min} = f_1 f_2 K_e \frac{(f_3 f_2 R_1)^{1,5}}{D}. \quad (8)$$

При анализе данных, представленных на рис. 1 и 2, необходимо иметь в виду, что они носят во многом качественный характер. Несмотря на то, что расчеты выполнены для реально существующего судна ледового плавания, для получения данных по конкретному судну необходимо выполнить расчеты с характеристиками его движительного комплекса. Наиболее точную информацию о характеристиках взаимодействия движительного комплекса со льдом можно получить на основании результатов модельных испытаний в ледовом бассейне.

Еще один результат выполненных расчетов представлен на рис. 3. На нем показан характер изменения скорости движения судна в случае поддержания частоты вращения движителя постоянной. Такая ситуация иногда возникает при проведении модельных испытаний в ледовом бассейне. Из рисунка следует, что при любом уровне ледовой нагрузки на движитель происходит возрастание его тяговых характеристик, что, соответственно, приводит к увеличению скорости движения. Это обстоятельство необходимо учитывать при анализе данных модельных самоходных испытаний.

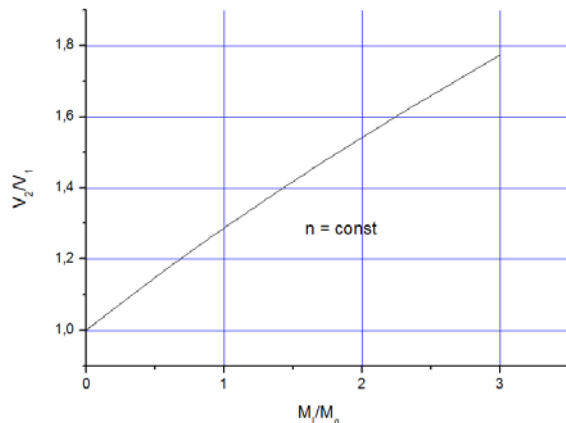


Рис. 3 Возрастание относительной скорости движения судна при наличии взаимодействия движителя со льдом и поддержании постоянной частоты его вращения

ВЫВОДЫ

Полученные результаты могут быть использованы при назначении минимальной мощности энергетической установки судов ледового плавания, эксплуатируемых на режиме движения задним ходом.

Полученные данные также могут быть использованы при анализе результатов самоходных испытаний моделей в ледовых бассейнах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Riska K. The background of the powering requirements in the Finnish – Swedish ice class rules // Maritime Research Seminar'99, VVT Symposium 199, Espoo, Finland, 2000, p. 91–106.
2. Сазонов К.Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. – СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова, 2010. – 274 с.
3. Цой Л.Г., Андрияшин А.В., Штрек А.А. Обоснование основных параметров перспективных крупнотоннажных газовозов для Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2013. – № 3(97). – С. 46 – 56.
4. Андрияшин А.В. Теория взаимодействия гребного винта со льдом. Обеспечение эксплуатационной прочности элементов пропульсивного комплекса судов ледового плавания и ледоколов: дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук. – СПб., 2006. – 254 с.
5. Андрияшин А.В., Беззубик О.Н., Бицуля А.В., Гаппоев М.А. Ледовые нагрузки для расчета прочности ледокольных винтов // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – 2000. – № 23. – С. 162–179.
6. Карулин Е.Б., Карулина М.М., Беляшов В.А., Белов И.М. Оценка периодических нагрузок, действующих на гребной винт при взаимодействии со льдом // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – 2008. – № 31. – С. 93 – 106.
7. Сазонов К.Е. К выбору сценариев взаимодействия гребных винтов со льдом. // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2013. – Вып. 74(358). – С.147–158.
8. Беляшов В.А., Дмитриев Д.С. Изменение кинематических параметров системы «винт-вал-двигатель» при взаимодействии гребного винта со льдом // Вопросы судостроения, сер. Проектирование судов. – 1984. – Вып. 41. – С. 36–43.
9. Belyashov V.A., Grebenuk S. Ya. Influence of ice loads on propeller on the engine's braking parameters and ice-going qualities of the vessel // Proc.14th. Int. Conf. on Port and Ocean Eng., POAC-99, Helsinki, 1999, Vol.2, pp. 768–776.
10. Меркулов В.А., Яковлева М.В. Нагруженность валопроводов судов ледового плавания и рекомендации по их проектированию // Вопросы судостроения, сер. Судовые энергетические установки. – 1980. – Вып.19. – С. 82–98.



КОНТЕЙНЕРНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

А.Е. Ушаков
д-р техн. наук, проф.

И.В. Сергеичев
канд. физ.-мат. наук,

Сколковский институт науки и технологий



А.В. Фетисов

С.В. Докучаев

ФАУ «Российский морской
регистр судоходства»



РАЗРАБОТКА И СЕРТИФИКАЦИЯ КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНЫ С НЕСУЩИМ СОСУДОМ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПРОДУКТОВ ХИМИИ И НЕФТЕХИМИИ

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость развития парка контейнеров-цистерн для мультимодальных перевозок продуктов химии и нефтехимии обусловлена значимой долей опасных химических грузов в транспортных потоках Российской Федерации, которая в экспортном внешнеторговом обороте России составляет более 70 %, а в товарной структуре импорта – около 20% (данные 2011 г.). При запланированном уменьшении импорта в 2015 г. планируется увеличение объема экспорта химической и нефтехимической продукции. В общем объеме перевозок химических грузов до 45% составляют различные кислоты, среди которых наибольший объем перевозок (до 40% всех кислот) приходится на серную кислоту.

Ввиду увеличения объема экспорта продукции химической и нефтехимической промышленности

определены основные задачи, успешное решение которых напрямую обусловлено сертификацией рассматриваемого контейнера-цистерны для мультимодальных перевозок агрессивных веществ, продуктов химии и нефтехимии. Такими задачами являются:

- наращивание товарооборота Северного морского пути без привлечения дополнительных инвестиций в развитие инфраструктуры портов;
- контейнеризация товарооборота Транссибирской магистрали с ростом оборота и улучшения сбалансированности экспортных и импортных контейнеропотоков;
- формирование новых территориально-производственных кластеров энергосырьевой специализации (Нижнее Приангарье, Читинская область, зона БАМ);
- обеспечение экологической безопасности при перевалке химических наливных опасных грузов;

- снижение существующей зависимости РФ от международных компаний – владельцев парка контейнеров-цистерн.

В мире, по данным Международной организации по контейнерам-цистернам (ITCO) (объединяет крупнейшие компании-владельцы, лизинговые компании, компании-перевозчики, ремонтные и экспедиторские компании, а также надзорные организации), на 2014 г. находилось в обороте 394000 контейнеров-цистерн, при этом рост объемов оборудования по сравнению с 2013 г. составил 12%. Рамные элементы и сосуды данного парка контейнеров практически на 100% изготовлены из металла.

Однако в рамках программы Министерства промышленности и торговли РФ по применению в хозяйстве композиционных материалов с целью повышения эффективности контейнерных перевозок агрессивных сред была поставлена задача разработки и серийного изготовления контейнеров-цистерн с сосудами из полимерных композитных материалов (ПКМ), которые могли бы применяться на всех видах транспорта в международном и внутреннем обращении.

Преимуществами такого контейнера-цистерны с сосудом из композиционного материала являются увеличение срока службы по сравнению с металлическими аналогами, снижение эксплуатационных расходов, а также энергоемкости при изготовлении и повышение безопасности эксплуатации (в том числе при продлении срока службы). Кроме того, при применении таких контейнеров-цистерн перечень перевозимых опасных химических грузов в интервале температур эксплуатации от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ может быть расширен и включать метанол, изопропанол и серную кислоту концентрацией от 75 % до 80 %. В реальной практике интервал температур эксплуатации составляет от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этот диапазон температур обусловлен объективными трудностями выбора комплектующих изделий (сервисное оборудование и угловые фитинги).

1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОСУДА КОНТЕЙНЕРА-ЦИСТЕРНЫ

Рассматриваемый контейнер-цистерна имеет следующие основные технические характеристики:

- максимальная масса брутто, т – 36,00;
- собственная масса с каркасом контейнера, не более, т – 4,05;
- грузоподъемность при испытаниях, т – 31,95;
- общая вместимость (не менее), м^3 – 24,00;
- максимально допустимое рабочее давление, МПа – 0,4;
- испытательное давление, МПа – 0,6;
- габаритные размеры, мм:

- длина – 6058,
- ширина – 2438,
- высота – 2591;

расстояние между центрами отверстий угловых фитингов, мм:

- по длине – $5853,5 \pm 4,5$,
- по ширине – 2259 ± 4 .

Материал цистерны: полимерные композиционные материалы, стеклопластики, полученные методом вакуумной инфузии и филаментной намотки.

Общий вид конструкции контейнера-цистерны показан на рис. 1. Сосуд имеет «юбку», соединяемую болтами с металлическими оправками рамы контейнера. Конструкция сосуда включает наливной, предохранительный и воздушный клапаны, а также люк доступа, устанавливаемые в верхней части сосуда.

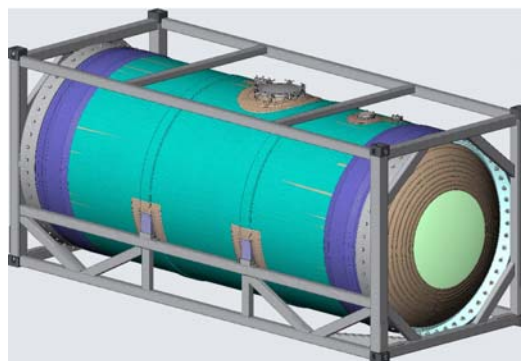


Рис. 1 Общий вид контейнера-цистерны

Конструкционные слои цилиндрической и торцевых частей сосуда, а также его соединительной «юбки» изготавливаются методом филаментной намотки поверх инфузируемых торцевых крышек, при этом формируются материальные границы внутри монолитной конструкции сосуда. Схема конструкционных слоев сосуда показана на рис. 2.

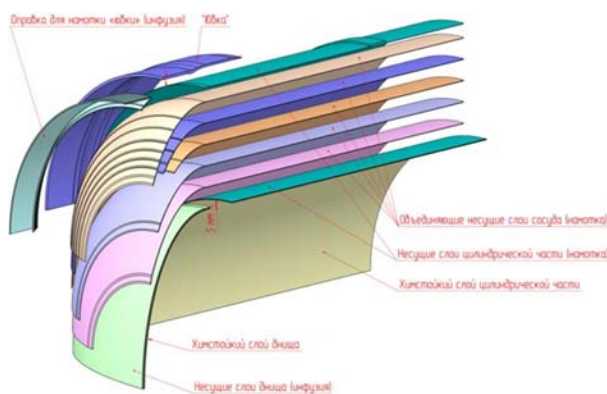


Рис. 2 Схема конструкционных слоев

На рис. 3 представлен общий вид сосуда контейнера-цистерны при подготовке его гидравлических испытаний в лаборатории ADMOR Composites (г. Валкеакоски, Финляндия).



Рис. 3 Сосуд контейнера-цистерны при подготовке к гидравлическим испытаниям

2. ЗАДАЧИ В ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕРТИФИКАЦИИ

Требования к проектированию и изготовлению контейнеров-цистерн для мультимодальных перевозок опасных грузов определяются рядом нормативно-правовых документов, в число которых входят:

- Правила изготовления контейнеров РС (2009 г.) [1];
- Рекомендации ООН по перевозке опасных грузов;
- Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ) (ADR) [2];
- Международный морской кодекс по опасным грузам (ММОГ) (IMDG Code), с поправками 36 – 12 [3];
- Международные стандарты ISO 1161:1984, ISO 668:1995, ISO 1496-3:1995, ISO 6346:1995.

Однако требования этих документов не охватывают возможные формы разрушения композиционных материалов и их материальных границ, реализуемых в конструкции сосуда контейнера-цистерны. Более того, для изготовления оболочки сосуда контейнера-цистерны п. 6.7.2.2 Кодекса ММОГ регламентирует применение только формуемых конструкционных сталей и алюминия (с использованием слоя изоляции против теплового воздействия), тем самым ограничивая применение композиционных материалов в конструкции мультимодального контейнера-цистерны. Вместе с тем, п. 6.7.1.2 того же кодекса допускает необходимость внесения изменений в нормативные требования ввиду развития науки и технологий.

Таким образом, в Кодексе ММОГ полностью отсутствуют конкретные требования к сосудам из ПКМ. Но в то же время такие требования имеются в гл. 6.9 Соглашения ДОПОГ, регламентирующей требования к сосудам из композиционных материалов, перевозимым автомобильным транспортом.

Российский морской регистр судоходства (РС) в п. 2.2.12 части IV «Контейнеры-цистерны» Правил изготовления контейнеров (2009 г.) указывает на то, что «цистерна может изготавливаться из композитных материалов; при этом толщина ее стенок и днищ является в каждом случае предметом специального рассмотрения РС. При применении неметаллических (полимерных) композитных материалов для цистерн следует руководствоваться Нормативно-методическими указаниями по проектированию, изготовлению, эксплуатации и ремонту сосудов под давлением для хранения и перевозки опасных грузов, если не оговорено иное» [1]. По сути, настоящие указания являются уникальными в практике работы классификационных обществ.

Указанное выше определяет следующий состав задач, решение которых обеспечивает сертификацию контейнера-цистерны с сосудом из ПКМ для мультимодальных перевозок агрессивных продуктов химии и нефтехимии:

- включение в Рекомендации ООН по перевозке опасных грузов и в Кодекс ММОГ положений, касающихся сосудов из ПКМ;
- обеспечение разработки нового многослойного материала подбором химически стойких компонентов в целях изготовления контейнера с заданными характеристиками прочности и химической стойкости;
- формирование и анализ расчетных нагрузок исходя из требований по статическим и динамическим нагрузкам Кодекса ММОГ, а также с учетом диапазона температур;
- выработка условий и критериев прочности для применения в расчетах и их подтверждение при помощи измерений во время испытаний;
- разработка принципов классификации цистерн из ПКМ, поскольку сегодняшняя система, применяемая для переносных цистерн, основана на величинах испытательного рабочего давления и толщины стенки сосуда из металла;
- выработка критериев безопасного состояния контейнеров из ПКМ при эксплуатации (допустимые повреждения, износы и др.);
- разработка дополнительных методик для обеспечения сертификации контейнера-цистерны;
- оценка влияния условий морской среды на характеристики многослойного ПКМ, в том числе на огнестойкий внешний слой;
- разработка методики контроля дефектов многослойного сосуда из ПКМ. Разработка норм допустимых дефектов;

- разработка методики «Критерии оценки состояния сосуда из полимерных композиционных материалов при периодических освидетельствованиях с учетом износа, старения и условий эксплуатации».

Решение перечисленных выше задач позволит обосновать внесение изменений в нормативные требования Кодекса ММОГ, актуализированная версия которого действует с 1 января 2014 г. На рис. 4 показан график принятия изменений в Кодекс ММОГ.

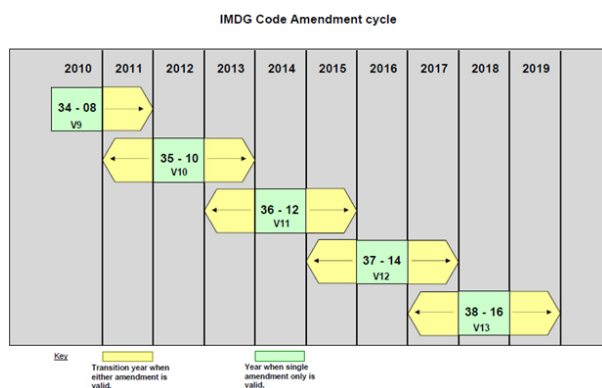


Рис. 4 График принятия изменений в Кодекс ММОГ

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СЕРТИФИКАЦИИ

Для обеспечения сертификации контейнера-цистерны с сосудом из ПКМ необходима реализация следующих этапов:

- разработка и уточнение нормативных требований к прочности;
- разработка методик определения расчетных характеристик, применяемых ПКМ;
- валидация расчетных моделей;
- поверочные расчеты прочности контейнера-цистерны;
- разработка методик испытаний опытного образца (прототипа) контейнера-цистерны;
- испытания опытного образца (прототипа) контейнера-цистерны;
- опытная эксплуатация;
- обновление стандартов и других нормативных документов.

Разработка и уточнение нормативных требований к прочности предполагает анализ применимости содержащихся в п. 6.9 Соглашения ДОПОГ нормативных требований к контейнерам-цистернам с сосудом из ПКМ, определение новых требований с учетом возможных форм разрушения применяемых ПКМ и особенностей технологии изготовления конструкции сосуда контейнера-цистерны, определение норматив-

ных требований к прочности контейнера-цистерны для морских перевозок и согласование их с РС, а также определение перечня расчетных случаев (расчетные и испытательные нагрузки) и согласование его с РС.

Требования к прочности при действии расчетных нагрузок, предъявляемые Соглашением ДОПОГ к сосудам из ПКМ, определяются по сути только условиями прочности и ограничением деформации ($< 0,2\%$) при растяжении в произвольном направлении (пп. 6.9.2.5 и 6.9.2.7 Соглашения ДОПОГ соответственно). При этом необходимо иметь в виду, что возможные формы инициации разрушения оболочки сосуда контейнера-цистерны не могут исчерпываться только разрушением при растяжении для конкретной схемы армирования конструктивных слоев оболочки.

Аналогичная ситуация имеет место и для регламентируемых Соглашением ДОПОГ методик расчета зон соединений конструктивных слоев оболочки сосуда. Так, например, требования п. 6.9.2.10 Соглашения ДОПОГ регламентируют методику расчета прочности зон клиновидных стыков конструктивных слоев сосуда с применением методов строительной механики, но данные требования не применимы к разработанной конструкции, поскольку в оболочке сосуда отсутствует указанный тип соединений, а имеют место материальные границы, получаемые наплавлением материала (см. рис. 2). Для анализа прочности таких материальных границ наиболее оправдано и обоснованно применение метода виртуального закрытия трещины (virtual crack closure technique, VCCT) [4].

Реализация и обоснование применения предлагаемой методики расчета материальных границ сосуда контейнера-цистерны в свою очередь требует разработки и согласования с РС экспериментальных методик определения соответствующих расчетных характеристик материалов, применяемых в конструкции сосуда.

В свою очередь, до проведения поверочных расчетов прочности контейнера-цистерны требуется валидация методики моделирования и расчетных конечно-элементных моделей на основании испытаний конструктивно подобных образцов, имитирующих элементы конструкции контейнера-цистерны. В рамках проводимой работы предполагаются испытания торцевых частей сосуда контейнера-цистерны с имитацией давления при действии минимального продольного ускорения $4g$ (испытательная нагрузка на заполненную цистерну). На рис. 5 показан эскиз конструктивно подобного образца фрагмента торцевой части сосуда. Такой вариант нагружения позволит оценить прочность зон болтовых соединений «юбки» сосуда с рамой контейнера, а также прочность регулярных зон днища и материальных границ конструктивных слоев.

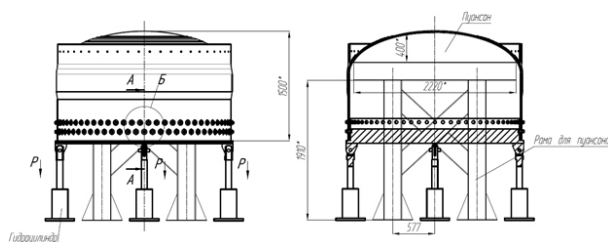


Рис. 5 Эскиз конструктивно подобного образца фрагмента торцевой части сосуда

Примером результата валидации расчетной конечно-элементной модели может являться работа, проведенная в рамках проекта по разработке крыши вагона-хоппера из ПКМ, в ходе которой были проведены моделирование и натурные испытания зоны соединения ребра жесткости обшивки крыши кузова [5]. Эти испытания позволили валидировать методику моделирования и расчетную конечно-элементную модель развития расслоений (рис. 6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общие положения по техническому надзору за контейнерами. Правила изготовления контейнеров. Правила допущения контейнеров к перевозке под таможенными печатями и пломбами. Правила технического наблюдения за изготовлением контейнеров. Правила технического наблюдения за контейнерами в эксплуатации – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2009.

2. ДОПОГ. Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов. Т. 2. – ООН, 2013.

3. Кодекс ММОГ. Международный кодекс морской перевозки опасных грузов, включающий поправки 36–12. Т. 2. – СПб: ЦНИИМФ, 2014.

4. Wu, E. M., and R. C. Reuter Jr., "Crack Extension in Fiberglass Reinforced Plastics," T and M Report, University of Illinois, vol. 275, 1965.

5. Structural design, strength analysis and numerical modeling of vacuum infusion manufacturing process of composite roof for hopper car Sergeichev I.V., Fedulov B.N., Safonov A.A., Ushakov A.E., Klenin Yu.G., Izotov A.V // В сборнике International SAMPE Technical Conference Сер. "SAMPE Tech 2013 Conference and Exhibition", 2013.

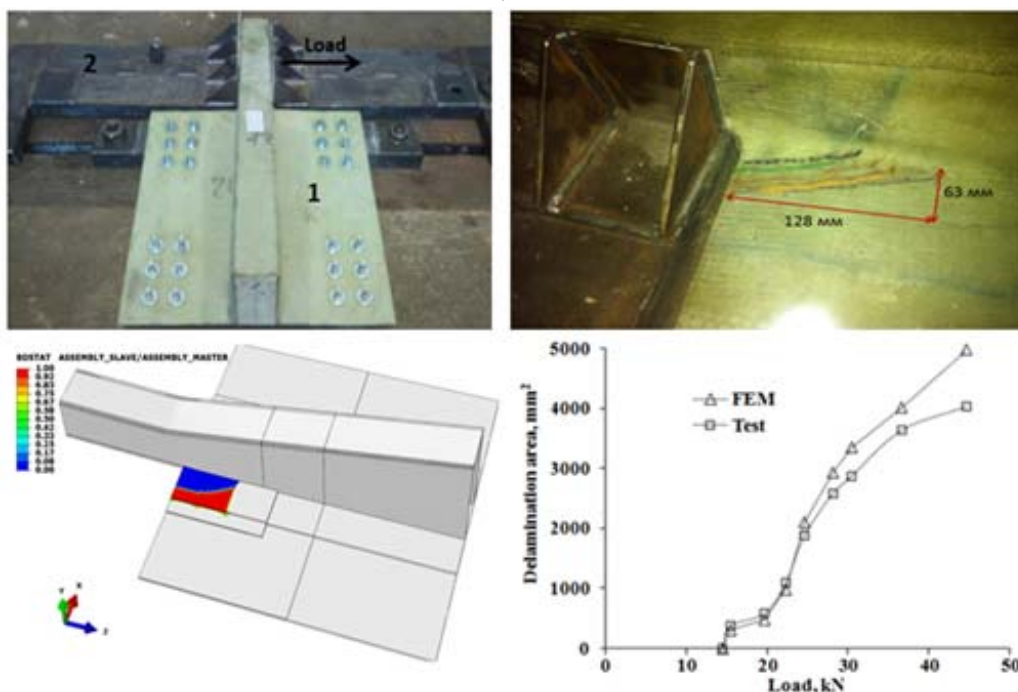


Рис. 6 Испытания зоны соединения ребра жесткости обшивки крыши кузова



НЕФТЕГАЗОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Л.В. Муравьева
д-р техн. наук, проф.,
СПбПУ



АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ, ПРОКЛАДЫВАЕМЫХ ПО ДНУ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

К числу опасных явлений, которые вызывают тяжелые экологические последствия при прокладке и эксплуатации морских трубопроводных систем, относятся сейсмические воздействия.

При проектировании здания или сооружения 1 – повышенного уровня ответственности, согласно Федеральному закону от 18.12.2006 № 232-ФЗ, ст. 48.1, должна быть учтена аварийная расчетная ситуация, имеющая малую вероятность возникновения и небольшую продолжительность, но являющаяся важной с точки зрения достижения предельных состояний, которые могут при этом возникнуть (в связи со взрывом, столкновением, с аварией, пожаром).

Расчет прочности морских подводных трубопроводов основывается на классических или полумпирических методиках и численном моделировании, которые учитывают совокупность действующих расчетных нагрузок, граничных условий и параметров сопротивления труб [1, 2].

Основные варианты разрушений магистральных подземных трубопроводов, наблюдаемые при сейсмических воздействиях, проявляются в виде разрывов газопровода вследствие больших

продольных напряжений, местной потери устойчивости стенки газопровода, гофрообразования по телу трубы, общей потери устойчивости газопровода [1, 3].

При прокладке подводного трубопровода необходимо учитывать все факторы риска. Уровень аварийности транспортных систем по разным данным составляет от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ (1/год)/км [4].

В настоящей статье выполнен анализ сейсмического риска подводного незаглубленного трубопровода, проложенного по дну Каспийского моря. Оценка безопасности произведена из условия прочности для незаглубленного трубопровода. Рассматривается только трубопровод (без обустройств) как цилиндрическая протяженная оболочка, деформации которой наблюдаются в продольном и поперечном направлениях.

Как показали гидравлические расчеты, максимальное давление в подводном трубопроводе Ду 350 мм составляет 8,0 МПа; расчетное давление транспорта природного газа в газопроводе, прокладываемом без теплоизоляции и заглубления – 6,43 МПа. Рассматривается наименее дорогостоящая конструктивная схема трубопровода – укладка трубопровода без теплоизоляции. Исследования

уровня сейсмического риска выполнены для территории сейсмичностью 6 баллов и понижения рабочего давления в трубопроводе до «безопасного».

Сейсмический риск

Сейсмическая опасность вычисляется по закону Пуассона как вероятность превышения интенсивности I_Φ в течение $T_0=30$ лет эксплуатации трубопровода [1, 3, 4]:

$$P(T) = 1 - \exp(-\Lambda T), \quad (1)$$

где P – уровень условного риска;
 Λ – частота проявления сейсмического события.

Полный сейсмический риск равен произведению вероятностей и представляет вероятность наступления предельного состояния конструкции в течение срока эксплуатации T_0 [1, 2, 3]:

$$H_{seism}(a, T) = P(\sigma > a | t) H(t) = \{1 - \exp[-\int_0^t U(a, \tau) d\tau]\} [1 - \exp(-\Lambda T)], \quad (2)$$

где $P(\sigma > a | t)$ – требуемый уровень безопасности сооружения, обеспечивающий заданную величину сейсмического риска P при нормативном сроке службы T_0 ;
 $H(t)$ – функция сейсмической опасности территории;
 $U(a, \tau)$ – число выбросов напряжений.

Оценка безопасности подводного трубопровода

При исследованиях определены следующие характеристики безопасности:

- среднее число выбросов напряжений в стенке и трубопроводе [5];

- интенсивность выбросов;

- вероятность выбросов за уровень σ_e –

для варианта 1 погружения трубопровода в морское дно $0,1D$, при условии учета сопротивления основания с помощью коэффициентов жесткости грунта C_{xi} , первоначальной осадки и влияния температурного режима эксплуатации.

Полный сейсмический риск для расчетного варианта 1, при учете погружения трубопровода и продолжительности эксплуатации трубопровода 30 лет, представлен в табл. 1 и на рис. 1.

Диапазон изменения полного сейсмического риска составляет от 5,29 % до 5,63 % для расчетных случаев осадки трубопровода $0,1D$ при сроке эксплуатации конструкции 30 лет.

Исследования, выполненные для морского трубопровода при 6-балльном землетрясении, показывают, что напряжения в трубопроводе в

Таблица 1

Полный сейсмический риск (вариант 1)

C_{xi}	$P(\sigma_{Cxi} > \sigma_e C_{xi})_{0,1D}$	$H_{seism}(\sigma_{Cxi}, T)_{30}$	$P(\sigma_{Cxi} > \sigma_e t)$ (начальная осадка без учета нагрузки от температуры)	$H_{seism}(\sigma_{Cxi}, T)_{30}$	$H_{seism}(\sigma_{Cxi}, T)_{30}$
1	0,9228	0,0545	0,91262	0,052932	0,05616
2	0,9219	0,0549	0,91432	0,053031	0,056186
3	0,9151	0,0549	0,91261	0,052931	0,05616
4	0,9214	0,0547	0,91368	0,052993	0,056176
5	0,9219	0,0549	0,91294	0,052951	0,056165
6	0,9168	0,0549	0,91812	0,053251	0,056244
7	0,9218	0,0547	0,91595	0,053125	0,056211
8	0,9194	0,0549	0,90371	0,052415	0,056026
9	0,9150	0,0548	0,91404	0,053014	0,056182
$\bar{P}$	$\bar{P} = 0,91$	$\bar{H}_{seism} = 0,0546$	$\bar{P} = 0,913$	$\bar{H}_{seism} = 0,0532$	$\bar{H}_{seism} = 0,0562$

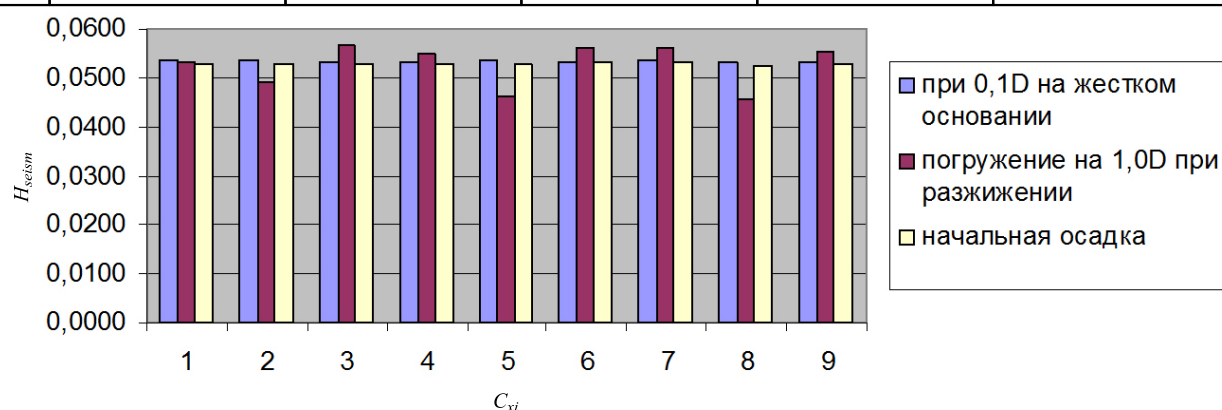


Рис. 1 Уровень сейсмического риска для расчетных вариантов: начальная осадка $0,1D$, влияния основания без учета температуры транспортировки

случае 6-балльного землетрясения не превышают допустимых (уровень риска эксплуатации конструкции составляет $P = 0,913$).

Вариант погружения трубопровода на диаметр трубопровода $1D$ с уровнем полного сейсмического риска 5,5 % рассматривается как предельный.

Уровень сейсмического риска (при эксплуатации в течение 30 лет) при сейсмичности района 6 баллов и понижении рабочего давления составляет 0,019 % и приведен в табл. 2 и на рис. 2.

Учет изменения режима транспортировки с внутреннего давления в 6,4 МПа до 3,2 МПа приводит к снижению уровня напряжений на 40% со 122 МПа до 80 МПа [3, 6–8], но уровень полного риска при учете возможности сейсмического события составляет 2 %.

График изменения уровня сейсмического риска при снижении давления для 6-балльного района укладки трубопровода показан на рис. 2.

Небольшой срок эксплуатации и снижение технологических параметров, без учета изменения конструктивных параметров, до рабочего давления 3,2 МПа с учетом волновой нагрузки и грунтовых

условий показывает диапазон изменения полного сейсмического риска с 5,8 % до 1,8 %. Данный уровень больше требуемого уровня в 1 % для сооружений 1 уровня ответственности.

Таким образом, уровень риска подводного трубопровода – сооружения 1 уровня ответственности – превышает установленный уровень риска в 1 % и делает необходимой разработку требований эксплуатации при пониженном давлении.

ВЫВОДЫ

В нормативные документы по учету сейсмической нагрузки необходимо внести дополнения по учету сейсмической нагрузки и для 6- балльной зоны.

При проектировании подводного трубопровода для повышения сейсмостойкости необходимо учитывать конструктивные и технологические параметры.

Таблица 2

Полный сейсмический риск при снижении давления транспортировки

C_{xi}	$P(\sigma_{Cx} > \sigma_e Cx)_{0,1D}$	$H_{seism}(\sigma_{Cx}, T)_{30}$	$P(\sigma_{Cx} > \sigma_e Cx)$ 3,2 МПа	$H_{seism}(\sigma_{Cx}, T)_{30}$ при снижении давления до 3,2 МПа
1	0,9228	0,0545	0,3200	0,0185
2	0,9219	0,0549	0,3545	0,0205
3	0,9151	0,0549	0,2710	0,0160
4	0,9214	0,0547	0,3250	0,0190
5	0,9219	0,0549	0,3425	0,0200
6	0,9168	0,0549	0,3310	0,0190
7	0,9218	0,0547	0,2665	0,0155
8	0,9194	0,0549	0,3735	0,0220
9	0,9150	0,0548	0,2585	0,0150
$\bar{P}(\sigma_{Cx} > \sigma_e t)$	0,91	-	0,3210	-
$\bar{H}_{seism}(\sigma_{Cx}, T)_{30}$	-	0,0546	-	0,02

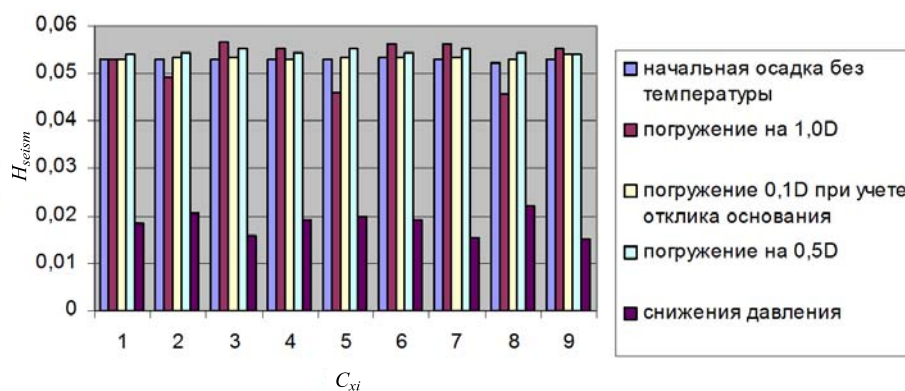
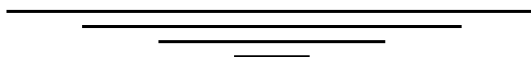


Рис.2 Снижение уровня сейсмического риска при понижении рабочего давления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2012. – 283 с.
2. Болотин В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1982. – 351 с.
3. Нормы проектирования и строительства морского газопровода: ВН 39-1.9-005-98. – М.: ИРЦ «Газпром», 1998. – 17 с.
4. Муравьева Л. В. Проверка прочности подводных трубопроводов при сейсмических воздействиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2013. – Вып. 32 (51). – С. 110–115.

5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Высш. шк., – 1999. – 576 с.
6. Гусев А. С. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках. – М.: Машиностроение, 1989. – 248 с.
7. Петров В. В. Механика длинномерных элементов глубоководных комплексов / В. В. Петров, В. В. Кузнецов, В. Н. Земеров. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. – 188 с.: ил.
8. Ржаницын А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
9. Райзер В. Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 194 с.





ПРОБЛЕМЫ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА

М.А. Коноплев
ПАО «Совкомфлот»



ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ ЭКИПАЖЕЙ СУДОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ СПГ

В настоящее время большое внимание в морской индустрии уделяется развитию флота для перевозки сжиженного природного газа (СПГ). Рост спроса на морские перевозки СПГ связан с необходимостью диверсификации маршрутов его транспортировки в соответствии с потребностями рынка. Вместе с тем, бурное развитие данного сегмента морских перевозок сопряжено с возрастающими рисками. Подготовка в короткие сроки квалифицированных и компетентных экипажей для судов, перевозящих СПГ, является одним из важных элементов по управлению такими рисками и требует со стороны управляющих компаний системного подхода.

Первые суда для перевозки СПГ появились в конце шестидесятых годов прошлого века, и для того, чтобы общее количество этих судов в мировом флоте превысило 100, потребовалось около 30 лет. Однако уже в 2006 г. флот судов для перевозки СПГ перешагнул отметку 200, а в 2009 г. составлял уже более 300 судов. На конец 2014 г. общее количество судов для перевозки СПГ тоннажем более 18000 м³ равнялось 357. Вместе с тем, на конец 2013 г. заказано к постройке еще 108 судов, и они ожидаются к вводу в эксплуатацию в период с 2015 по 2019 гг. [1]. Очевидно, что в течение следующих нескольких лет спрос на опытных и высококвалифицированных специалистов для работы на

судах, перевозящих СПГ, будет оставаться высоким, а мировой флот этих судов продолжит расширяться, ставя новые задачи перед компаниями-операторами.

Международная морская организация в Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДМНВ) регламентирует минимальные требования для подготовки и квалификации персонала, работающего на судах-газовозах. Однако более высокими требованиями к квалификации экипажей для этих судов являются промышленные стандарты и требования основных нефтяных и газовых компаний, которые наряду с квалификационными требованиями определяют минимальный уровень стажа для различных офицеров [2].

Основная проблема кадрового обеспечения судов для перевозки СПГ связана с тем, что подготовка квалифицированных кадров для работы в море представляет из себя долгий процесс, и для удовлетворения спроса на них требуется достаточно много времени. Например, подготовка капитана или старшего механика для судов-газовозов из выпускника морского ВУЗ занимает около 10 лет. Несколько лет требует и переподготовка уже действующих старших офицеров с нефтяных танкеров. Таким образом, для должного обеспечения кадровыми ресурсами развивающиеся компании-операторы судов-

газовозов должны заранее разрабатывать долгосрочные программы подготовки и переподготовки экипажей.

Отдельное внимание следует уделить подготовке офицеров машинной команды. Последние разработки в области двухтопливных двигателей, способных работать на газе и дизельном топливе, привели к снижению количества судов для перевозки СПГ, использующих паровые турбины. Большинство из строящихся в настоящее время судов для перевозки СПГ оборудованы подобными двухтопливными двигателями и системой электродвижения, что, естественно, требует особой подготовки как судовых механиков, которые прежде имели опыт работы на судах с паровыми турбинами, так и электромехаников, у которых нет опыта работы на судах подобного типа. Также важным аспектом обеспечения безопасной эксплуатации судов-газовозов с двухтопливными двигателями является специальная подготовка береговых технических служб, обеспечивающих должное управление судами.

Группа компаний ПАО «Совкомфлот» имеет достаточный опыт управления и эксплуатации судов для перевозки СПГ: первые два судна появились в «Совкомфлоте» в 2006 г. и с первых дней своей эксплуатации стали важным этапом развития компании. Подготовка российских моряков для судов, перевозящих СПГ, всегда была приоритетной задачей, и на сегодняшний день компании группы «Совкомфлот» обеспечивают экипажами шесть судов. На ближайшие пять лет ставится задача по подготовке нескольких десятков экипажей для работы на новых судах.

На основе требований индустриальных стандартов и условий договоров фрахтования в группе компаний «Совкомфлот» были разработаны критерии минимального опыта офицеров для работы на судах, перевозящих СПГ. В таблице указаны требования в отношении следующих критериев: 1 – комбинированный стаж работы в компании в календарных годах; 2 – комбинированный стаж в должности на судах в годах (учитывается только время на борту); 3 – индивидуальный стаж на судах для перевозки СПГ в годах (учитывается только время на борту).

Критерии минимального опыта для работы на судах, перевозящих СПГ

Персонал	Требования для критериев		
	1	2	3
Капитан	2 года	2 года	2 года
Старший помощник			1 год
Старший механик	2 года	2 года	2 года
2-й механик			1 год

В отношении индивидуального стажа на судах для перевозки СПГ индустриальный стандарт предусматривает возможность применения эквивалентов. Так,

капитан может иметь стаж 2 года на судах для перевозки сжиженных углеводородных газов (СУГ) или 3 года и 9 месяцев на борту нефтяного танкера. В случае применения эквивалента опыта на судах для перевозки СУГ, капитан должен пройти дополнительный тренировочный период перед вступлением в должность, включающий как минимум два полных грузовых цикла. В случае применения эквивалента опыта на нефтяных танкерах, капитан для получения необходимых документов, позволяющих дальнейшую работу на газовозах на более высоких должностях, должен отработать в должности младшего помощника в соответствии с конвенцией ПДМНВ. Далее необходимо сделать как минимум один полный рейс продолжительностью примерно четыре месяца в должности старшего помощника капитана. Аналогичные эквивалентные требования распространяются и на старшего помощника, имеющего опыт работы на судах для перевозки СУГ или нефтяных танкерах [2].

В отношении старших офицеров машинной команды следует отметить важность того, что помимо опыта на судах для перевозки СПГ, в зависимости от типа судна, также необходим опыт работы на судах с паровой турбиной или с дизельной судовой энергетической установкой. Это также усложняет процесс подбора специалистов и требует дополнительной переподготовки.

Несмотря на все трудности, следует заметить, что работа на судах для перевозки СПГ вызывает огромный интерес и привлекает большое количество желающих, которые готовы к переподготовке.

В последние годы в группе компаний «Совкомфлот» значительные ресурсы направляются на создание собственной системы по подготовке экипажей. Идет активная работа по формированию кадрового резерва путем постоянного практического обучения на борту судов для перевозки СПГ старших офицеров в должностях дублеров. Ежегодно практику на судах группы компаний «Совкомфлот» проходят курсанты ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова.

В ходе реализации программы по подготовке экипажей судов для перевозки СПГ в группе компаний «Совкомфлот» были выделены следующие аспекты, требующие специального внимания:

- программа переподготовки офицеров с целью получения ими необходимого опыта требует много времени и сопровождается высокими затратами;
- переподготовка не означает автоматического получения опыта и знаний, и существенные ресурсы должны быть направлены на определение компетенции переподготовленных специалистов;
- привлечение компетентных и опытных кадров для работы в береговых подразделениях, управляющих флотом судов для перевозки СПГ;
- возможность получения более выгодных условий для работы в других компаниях в связи с

бурным ростом флота судов-газовозов в мировом масштабе, что делает необходимой постоянную корректировку условий найма моряков;

- постоянное повышение критериев по опыту экипажей со стороны фрахтователей.

Для оптимизации уровня влияния перечисленных выше аспектов в группе компаний «Совкомфлот» были предприняты следующие контрольные меры:

- проведен анализ заработных плат старшего командного состава на судах для перевозки СПГ на соответствие их одним из самых высоких мировых показателей;

- разработана система дополнительных мер материального поощрения экипажей, нацеленная на удержание старшего командного состава в кадровом резерве группы компаний «Совкомфлот»;

- разработаны совместные программы с производителями оборудования для дополнительной подготовки старшего командного состава.

Перечисленные меры не являются исчерпывающими и требуют постоянного усиления и контроля. В перспективе рассматривается дальнейшее совершенствование системы материального вознаграждения и обеспечение дополнительных мер социальной защиты моряков. Вместе с тем, готовится внедрение более сложной системы аттестации и ужесточение критериев отбора моряков для работы на судах-газовозах.

Следует отметить, что проблемы, описанные выше, требуют ответственного отношения всех

участников рынка услуг по морской перевозке СПГ. Основой стабильного развития всей отрасли является системный подход к решению проблемы нехватки опытного персонала. Для решения данной проблемы всем заинтересованным сторонам следует с каждым годом увеличивать количество специалистов и, несмотря на их нехватку, усиливать качество подготовки моряков, квалификация которых должна соответствовать индустриальным стандартам и требованиям фрахтователей.

У проблем, затронутых в статье, нет и не может быть простых и быстрых решений. Например, практика привлечения экипажей из компаний-конкурентов и необоснованный рост зарплат, не связанный с ростом компетенции и производительности труда, будет способствовать лишь увеличению стоимости конечного продукта, не гарантируя при этом улучшения качества всего процесса. Скорее наоборот, это может создать угрозу безопасности перевозки и, как следствие, нанести ущерб для репутации всей отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IGU World LNG Report – 2014 Edition I. С. 28 – 30.
2. LNG and LPG experience matrix; First Edition 2011. С. 8

В.Н. Никитина
д-р мед. наук, проф.,
СПбГМТУ
Г.Г. Ляшко
канд. мед. наук,
СПбГМТУ



А.Б. Разлетова
канд. техн. наук,
ФГУП «Крыловский
государственный
научный центр»



ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МОРСКИХ СУДОВ

Известно, что автоматизация судов — это процесс, при котором функции управления судном и его оборудованием, ранее выполнявшиеся человеком, передаются приборам и техническим устройствам. Автоматизация судов направлена на повышение безопасности рейсов, надежности и экономичности работы оборудования, увеличение производительности труда, улучшение его условий, сокращение численности плавсостава. Решение перечисленных задач требует системного подхода, включающего наряду с автоматизацией судовождения и обеспечением профессиональной компетентности моряков учет целого ряда медицинских аспектов. Без комплексного системного подхода ожидаемые положительные эффекты от внедрения высокотехнологичных средств автоматизации могут быть существенно снижены. В статье рассмотрены актуальные задачи, решение которых необходимо для снижения роли человеческого фактора как причины аварийности автоматизированных судов. Сначала остановимся на специфических условиях труда моряков, отличающихся от любой другой профессии [1, 2].

1. ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРУДА МОРЕПЛАВАТЕЛЕЙ

Специфичность условий труда моряков заключается в одновременном и длительном воздействии на организм большого числа неблагоприятных условий, которые неустраняемы. К ним относятся природные факторы (тайфуны, цунами, землетрясения, внезапные изменения погоды), быстрая смена климатогеографических зон, часовых поясов, вахтенный режим труда и отдыха, изменяющий природные ритмы организма. Нельзя не отметить также специфику питания экипажей судов, длительный отрыв от семьи, вынужденное пребывание в ограниченном прост-

ранстве с постоянным коллективом. Что касается гигиенически нормируемых неблагоприятных факторов (шум, вибрация, электромагнитные поля и другие), то речь может идти лишь об их снижении до предельно допустимого уровня путем проведения инженерно-технических мероприятий. Все перечисленные неблагоприятные факторы рабочей среды воздействуют и на судоводителя, профессиональная деятельность которого отличается высокой напряженностью трудового процесса.

С внедрением автоматизированных систем управления напряженность труда существенно возросла, что обусловлено необходимостью оперативного анализа информации, поступающей с многочисленных дисплеев и шкал приборов. Технической основой автоматизации судов являются электронные вычислительные машины (ЭВМ), а также микропроцессоры и микроЭВМ с дисплеями для отображения оперативной информации о процессе судовождения. Также на мостике устанавливаются вспомогательные средства отображения навигационной информации (цифровые и световые многоцветные табло, буквенно-цифровые формуляры). В процессе работы судоводители выполняют анализ графической и текстовой информации, одновременно используя несколько экранов различного размера, находящихся на различном удалении от глаз, имеющих различные контрастность, цветовые и яркостные характеристики. Напряженность труда судоводителей возросла также в связи с ростом интенсивности судоходства и увеличением плотности судов, внедрением высокоэффективных технологий переработки грузов в портах. Интенсификация погрузо-разгрузочных работ приводит к сокращению времени пребывания судов в портах и соответственно увеличению продолжительности пребывания экипажа в море. Возросла и ответственность судоводителей в связи с возросшей стоимостью судов.

Внедрение современных судовых автоматизированных систем управления приводит к сокращению численности экипажа, и в этом есть определенная заинтересованность судовладельцев. Одновременно идет процесс совмещения профессий, расширения круга функциональных обязанностей моряков. В отсутствии научнообоснованных режимов труда и отдыха при минимальном укомплектовании штата автоматизированных судов нагрузка на экипаж существенно возрастает. Негативным последствием всего этого является быстрое развитие усталости, отрицательно влияющее на безопасность рейсов [3, 4, 5].

2. ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ МОРЯКОВ ФАКТОРОВ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ И ТРУДОВОГО ПРОЦЕССА

С внедрением средств автоматизации на судах возросло число жалоб моряков на усталость. В резолюции А.772 (18) (1993 г.) Международной морской организации (ИМО) приведено общее описание усталости и факторов, способствующих ее возникновению. В 2001 г. ИМО опубликовала Директиву по снижению и управлению уровнем утомляемости. По вопросам усталости были приняты и другие международные документы. Однако изложенные там формулировки носят в основном декларативный характер и не содержат конкретных предложений по режиму труда и отдыха экипажа. В 2014 г. на 2-й сессии Подкомитета по человеческому фактору, подготовке моряков и несению вахты ИМО был представлен отчетный доклад «Роль человеческого фактора», подготовленный двумя организациями: Навигационным институтом (Англия) и Международной Федерацией транспортных рабочих (ITF) [6]. В докладе усталость отнесена к главной проблеме мореплавания, которую следует рассматривать в контексте часов работы, часов отдыха и минимального безопасного укомплектования людьми. В докладе говорится, что при расследовании инцидентов на судах часто констатируется, что рекомендации ИМО по снижению усталости не были приняты во внимание; приводятся сравнительные данные анкетного опроса моряков, выполненного сотрудниками Навигационного института в 2005 и в 2010 гг. Так, в анкетном опросе членов экипажа, проведенном в 2005 г., 60 % участников опроса выразили беспокойство по поводу укомплектования экипажа и 64 % - наличия усталости; к 2010 г. число жалоб существенно увеличилось (до 85 % и 90 % соответственно). В докладе авторы отмечают, что проблему усталости надо решать по двум основным направлениям: увеличивать численность экипажей и вводить научнообоснованный режим труда и отдыха. При этом необходимо разгружать моряков от «бумажной» работы.

В [7] японскими авторами дан анализ особенностей режимов труда, обусловленных несением вахт на судах различных типов (сухогрузы, танкеры, прогулочные суда и др.), и представлены данные анкетирования 7750 моряков. При опросе вахтенные офицеры отмечали наличие проблем, связанных с различными видами нарушений сна (недостаточное общее время сна за сутки, нарушение регулярности в предоставлении времени для сна, лишение сна во время грузовых операций, прерывистый сон и др.). В исследовании показано наличие достоверной взаимосвязи между характером сна и частотой инцидентов, приводящих к авариям. Ввиду участвовавших случаев засыпания судоводителей на мостике, ИМО ужесточает требования по контролю дееспособности лиц, несущих ходовую навигационную вахту. Так, с первого января 2011 г. вступило в силу требование по обязательному оборудованию судов системой предупредительной сигнализации (Bridge Navigation Watch Alarm System). Система предназначена для контроля функционирования поста управления судном в рулевой рубке и выявления недееспособности вахтенного помощника. Поскольку система никак не влияет на причины, порождающие усталость судоводителя, эффективность предлагаемого подхода к предупреждению аварий вызывает сомнение.

С усталостью напрямую связано нарушение работоспособности, повышение риска хронических заболеваний и чувствительности людей к воздействию неблагоприятных факторов, ускоренное старение организма. Научными исследованиями установлено, что наибольший удельный вес среди патологий, выявленных у моряков (более 68 %), занимают заболевания сердечно-сосудистой системы [8, 9]. Они существенно превышают удельный вес данных заболеваний в популяции в целом. При этом наибольшую распространенность у моряков, особенно рядового состава, имеет вегетососудистая дистония (ВСД). Гипертоническая болезнь (ГБ) и ишемическая болезнь сердца (ИБС) чаще регистрируются в группе командного состава. Распространенность заболеваний возрастает со стажем. Моряки со стажем до 10 лет чаще страдают ВСД. С увеличением стажа на первое место выходит ИБС и ГБ. Наибольший удельный вес ИБС и ГБ регистрируется у лиц со стажем 20 лет и более, то есть у наиболее профессионально подготовленных членов экипажа. На втором месте у моряков стоят заболевания органов пищеварения (18 %). Нельзя не отметить, что дополнительным фактором, отрицательно влияющим на здоровье значительной части моряков, является отсутствие возможности получить в рейсе квалифицированную медицинскую помощь, что связано в том числе с реформированием отечественной судовой медицины.

3. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО МИНИМАЛЬНОМУ БЕЗОПАСНОМУ СОСТАВУ ЭКИПАЖА

Как было указано выше, одной из задач автоматизации является сокращение численности плавсостава. Международным нормативным документом по комплектованию экипажа является резолюция ИМО А.890 (21) «Принципы безопасного состава экипажей судов» [10]. Данному вопросу посвящена и резолюция ИМО А.1047(27), принятая в ноябре 2011 г. Другой международный документ, в котором уделяется внимание комплектованию экипажей морских судов – это Конвенция 2006 года о труде в морском судоходстве (МОТ-2006). Конвенция вступила в силу 20 августа 2013 г. и Российская Федерация присоединилась к ней. С учетом положений международных документов каждая страна разрабатывает свои национальные документы, адаптированные к уровню технического прогресса, специальным типам судов и рейсов.

Министерством транспорта РФ приказом от 1 ноября 2002 г. № 138 утверждено «Положение о минимальном составе экипажей самоходных транспортных судов». Это положение распространяется только на самоходные транспортные суда внутреннего и смешанного (река-море) плавания, зарегистрированные на территории РФ и получившие Свидетельство на право плавания под Флагом РФ. Национальный документ по определению минимального состава экипажа морских судов не принят. Есть приказ Министерства морского флота СССР от 9 декабря 1969 г. № 199, в котором в качестве приложения представлено «Положение о минимальном составе экипажа судов, при котором допускается выход судна в море». Учитывая дату выхода документа, несостоятельность применения его в современных условиях очевидна. В отсутствии утвержденных национальных правил по определению безопасного численного состава экипажа автоматизированных морских судов этот процесс может носить субъективный характер.

4. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РЕЙСОВ

Для обеспечения успешной работы судоводителя на автоматизированном мостике, на наш взгляд, необходимо:

- разработать научно-обоснованные критерии определения профессиональной пригодности судоводителей по результатам психофизиологического тестирования (при этом необходимо учесть, что для успешной работы на судне с интенсивной автоматизацией судовой оператор, наряду с профессиональными знаниями, должен обладать

определенными психофизиологическими свойствами, отсутствие которых не компенсируется ни опытом, ни образованием, а когнитивные функции мозга человека, то есть его способность запоминать, передавать, использовать информацию, носят индивидуальный характер и у разных людей существенно отличаются);

- разработать научно обоснованные режимы труда и отдыха экипажа для судов различного типа и назначения, с различными знаками автоматизации в классе;

- разработать рекомендации по снятию зрительного утомления, повышению адаптационных возможностей организма судовых операторов.

В январе 2015 г. на заседании секции «Проблемы человеческого фактора» Научно-технического совета Российского морского регистра судоходства было рассмотрено предложение СПбГМТУ по выполнению соответствующей НИР. В постановлении секции отмечена актуальность темы. Результаты НИР могли бы послужить основой для разработки отраслевого нормативного документа по определению безопасного состава экипажа автоматизированных морских судов.

ВЫВОДЫ

В последние годы Президентом и Правительством РФ был утвержден ряд документов, направленных на развитие водного транспорта («Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 года», «Концепции развития внутреннего водного транспорта», Федеральная целевая программа «Развитие гражданской морской техники» на 2009 – 2016 годы и другие). Перспективное гражданское судостроение включает разнообразную номенклатуру наукоемких морских судов, морскую технику для изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа, принципиально новые крупнотоннажные суда усиленного ледового класса и ледоколы.

Создание современной сложной морской техники требует системного подхода к обеспечению безопасности мореплавания, учитывающего технические, технологические, профессиональные и медицинские аспекты проблемы снижения аварийности на море. К сожалению, в настоящее время в России нет медицинского научного учреждения, которое бы комплексно решало актуальные задачи в области морской медицины. Ликвидация в 90-е годы НИИ гигиены водного транспорта отрицательно сказалась на медицинском обеспечении работников отрасли. Авторы надеются, что поднятые в статье вопросы привлекут внимание органов государст-

венного управления в области безопасности судоходства, а также судовладельцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисобей В.А., Жижневская А.А. Социально-гигиенические аспекты заболеваемости работников транспорта // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2005. – № 1. – С.46–52.
2. Шафран Л.М., Псядло Э.М. Теория и практика профессионального психофизиологического отбора моряков. – Одесса: Фенікс, 2008. – 292 с.
3. Никитина В.Н., Ляшко Г.Г., Калинина Н.И. Морская радиоэлектроника и человеческий фактор. Некоторые медицинские аспекты проблемы обеспечения безопасности мореплавания // Научно-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – 2012. – Вып. 35. – С. 171–177.
4. Климов Е.Р. Лекции по МППСС-72 (части А и В): пособие для морских судоводителей. – Архангельск: ОАО «ИПП» Правда Севера, 2012. – 328 с.
5. Никитина В.Н. Человеческий фактор и безопасность мореплавания. Медицинский аспекты проблемы // Актуальные проблемы морской энергетики: материалы Всероссийской межотраслевой научно-технической конференции. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2012. – С. 32–37.

6. Role of the human element Seafarer Fatigue, Minimum Manning and the Mitigation of Fatigue submitted by the Nautical Institute and the International Transport Workers' Federation // IMO, of the STW Sub-Committee (STW 44/19) 2 session Agenda item 8, HTW 2/INF.7, 28 November 2014.

7. Analysis of background factors in marine accidents and incidents caused by watchkeeper drowsiness in Japan (Shinsuke Urushidani at al 2011 // Актуальные проблемы транспортной медицины, № 4 (26). – 2011. – С. 62–67.

8. Панов Б.В., Балабан С.В., Чебан С.Г., Самысько Д.Б., Лисобей В.А. Состояние здоровья моряков по результатам предварительных и периодических осмотров. Сообщение первое: медико-статистическая характеристика моряков // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2013. – № 3 (33). – С. 66–73.

9. Панов Б.В., Балабан С.В., Чебан С.Г., Самысько Д.Б., Лисобей В.А. Состояние здоровья моряков по результатам предварительных и периодических осмотров. Сообщение второе: показатели заболеваемости моряков разных возрастных и стажевых групп // Актуальные проблемы транспортной медицины – 2013. – № 3 (34). – С.47–56.

10. Принципы безопасного состава экипажей судов (резолюция ИМО А.890 (21) с поправками) = Principles of safe manning (resolution A.890 (21), as amended). – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2004. – 36 с.

УДК 629.5.021.18

Ключевые слова: полярный кодекс, безопасность мореплавания, арктическое судоходство.

Шурпак В.К. Полярный кодекс ИМО: предварительный анализ первой части (требования по безопасности) // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 8 – 17.

Представлен анализ требований по безопасности судов полярного плавания, содержащихся в принятой Комитетом по безопасности на море ИМО (ноябрь 2014 г.) первой части Международного кодекса для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (т.н. «Полярный кодекс»). Освещается история разработки Полярного кодекса, принципы, заложенные в основу этого обязательного к исполнению документа, кратко изложены основные технические и организационные требования, содержащиеся в его первой части.

УДК 629.5.06

Ключевые слова: международная конвенция, судовые балластные воды, охрана окружающей среды.

Зиненко Н.Н. Опыт эксплуатации установок обработки балластных вод на судах // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 17 – 21.

Приводятся требования к судовладельцам на основе Международной конвенции о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими. Приведен сравнительный анализ предлагаемых на мировом рынке установок обработки балластных вод различных производителей и опыт их эксплуатации на судах компании ПАО «Совкомфлот».

УДК 629.12

Ключевые слова: суда внутреннего плавания, речные круизные пассажирские суда, анализ риска, опасности, ущерб, проектирование, технические рекомендации, надежность, безопасность.

Егоров Г.В., Егоров А.Г. Исследование надежности и риска эксплуатации отечественных речных круизных пассажирских судов // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 22 – 35.

Выполнено исследование риска эксплуатации речных круизных пассажирских судов (РКПС). Проанализированы аварии с РКПС, происшедшие с 1983 по 2011 г., выявлены их основные причины и опасности. Отмечен устойчивый рост аварийности судов

UDC 629.5.021.18

Key words: Polar Code, maritime safety, arctic shipping

V.K. Shurpyak IMO Polar Code: preliminary review of first part (safety requirements) // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 8 – 17.

A review of safety requirements for ships operating in polar waters is presented, as found in the first part of the International Code for Ships Operating in Polar Waters (the so-called Polar Code) adopted by the Maritime Safety Committee of IMO (November 2014). The Polar Code development history is covered as well as the principles laid at the basis of this mandatory document, the main technical and organizational requirements contained in its first part are briefly formulated.

UDC 629.5.06

Key words: international convention, ship ballast water, marine environment protection

N.N. Zinenko Ballast water treatment plant operation on board ships // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 17 – 21.

The article contains requirements for shipowners based on the International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. A comparative study of ballast water treatment plants offered by different makers on the world market and their performance on board ships of PAO "Sovcomflot" is made.

UDC 629.12

Key words: inland waterways ships, river passenger cruisers, danger and risk analysis, damages, design, technical recommendations, reliability, safety.

G.V. Yegorov, A.G. Yegorov A reliability and operation risk study of domestic river passenger cruisers // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 22 – 35.

A study of operation risks for river passenger cruisers (RPC) is made. RPC accidents between 1983 and 2011 are reviewed and their basic reasons and risks are identified. A steady accident rate growth is noted for ships older than 20 years with a peak of accidents falling

старше 20 лет с пиком аварий для судов возрастом 25 – 35 лет. Даны технические рекомендации с позиции безопасности судоходства и экологической безопасности для проектирования пассажирских судов. Сделан вывод, что обеспечить надежность и безопасность РКПС возможно при системном подходе, включающем этапы классификации и разработки правил, проектирования, строительства, эксплуатации, освидетельствований, ремонта и модернизации судов.

УДК 629.5.06

Ключевые слова: динамическое позиционирование, судовладелец, инцидент, анализ.

Кладиев П.Г., Киселев П.А. Анализ инцидентов, связанных с динамическим позиционированием судов // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 36 – 37.

Приводится информация о том, что под руководством Международной ассоциации морских подрядчиков (IMCA) в мире реализуется механизм сбора и обработки информации, связанной с инцидентами при работе судов в режимах динамического позиционирования (ДП). Сводный бюллетень с обработанной информацией регулярно выпускается IMCA и широко используется операторами судов с ДП и организациями, занимающимися проектированием судов и подготовкой судовых специалистов.

УДК 629.54

Ключевые слова: структура мирового флота, динамика изменения суммарного тоннажа, удобные флаги, безопасность мореплавания.

Чернов О.А. Современные тенденции развития мирового флота и морских перевозок // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 38 – 45.

Приведены результаты исследования, проведенного на основе Обзоров морского транспорта (Review of Maritime Transport), публикуемых Конференцией ЮНКТАД. Проанализированы тенденции изменения таких характеристик мирового флота, как совокупный тоннаж, структура по типам судов, объемы перевозимых грузов, а также «национальность» флота (флаги регистрации судов и судоходных компаний). Рассмотрены тенденции в обеспечении безопасности мореплавания с учетом данных о гибели судов. Сделаны прогнозы в отношении мирового судоходства, морских перевозок основных видов грузов и общего положения экономики в мире.

on ships aged 25 – 35 years. Technical recommendations for passenger ship design are given from the point of view of navigation and environmental safety. A conclusion is made that RPC reliability and safety may be ensured in case of systemic approach comprising stages of classification, rules development, design, construction, operation, survey, repair and modernization of ships.

UDC 629.5.06

Key words: dynamic positioning, shipowner, incident, review.

P.G. Kladiyev, P.A. Kiselev Review of incidents related to dynamic positioning of ships // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 36 – 37.

Information is given to the effect a collection and processing scheme for data related to incidents during ship operation in dynamic positioning mode (DP) is globally realized by the International Marine Contractors Association (IMCA). A condensed bulletin containing processed data is regularly issued by IMCA and widely used by dynamically positioned ship operators and bodies engaged in ship design and ship technical staff training.

UDC 629.54

Key words: world fleet structure, total tonnage dynamics, convenient flags, navigation safety.

O.A. Chernov Up-to-date trends in world fleet and marine shipping development // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 38 – 45.

Results are given of a study based on the Review of Maritime Transport published by the UNCTAD Conference. The modification trends of such world fleet characteristics as total tonnage, ship type structure, cargo volume carried as well as fleet nationality (ship and company registration flags) are reviewed. Trends in maritime safety ensurance are considered with due regard for ship loss data. Forecasts are made in respect of world shipping, marine transportation of main types of cargo and the general economic situation worldwide.

УДК 629.54

Ключевые слова: морские транспортные системы, суда ледового плавания, динамические имитационные модели, геоинформационные среды, географические слои.

Таровик О.В., Бахарев А.А., Топаж А.Г., Косоротов А.В., Крестьянцев А.Б., Кондратенко А.А. Имитационная модель работы флота как инструмент анализа эксплуатационных параметров судов и обоснования проектных решений // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 46 – 52.

Описывается новый подход к исследованию и проектированию морских транспортных систем (МТС) и оптимизации судов в их составе. Суда представляются как самостоятельные объекты, движущиеся и взаимодействующие в геоинформационной среде под управлением логических блоков динамической имитационной модели. Описана структура программного комплекса «МТС-модель», реализующего данный подход, приведены примеры работ, выполненных с его использованием.

УДК 629.5.08

Ключевые слова: буксирный флот, увеличение тяги буксиров, движительно-рулевой комплекс, буксирно-швартовные операции.

Киселев С.А., Петров А.А. Тяговое усилие как оптимальная характеристика для определения необходимого числа буксиров в порту // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 52 – 55.

Приводятся результаты исследований, посвященных развитию нормативных документов по выбору потребного и предоставляемого числа буксиров для выполнения буксирно-швартовных операций в порту. Указано, что использование более экономичных двигателей, увеличение степени автоматизации привело к значительному снижению потерь в пропульсивном комплексе и, как следствие, увеличению тяги современных буксиров по сравнению с аналогами конца прошлого века. Предлагается использовать величину тягового усилия буксира в качестве оптимальной характеристики для определения необходимого числа буксиров.

UDC 629.54

Key words: marine transportation system, ice ships, dynamic simulation models, geoinformation media, geographical layer.

O.V. Tarovik, A.A. Bakharev, A.G. Topazh, A.V. Kosorotov, A.B. Krestyantsev, A.A. Kondratenko Simulation model of fleet operation as a tool of ship service parameters analysis and marine transportation system design // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 46 – 52.

A new approach to marine transportation system (MTS) analysis and design as well as optimization of ships as part thereof is described. Ships are presented as independent entities moving and interacting in a GIS environment under logical blocks of the dynamic simulation model. The layout of corresponding "MTS-model" software which realises such an approach is described. A number of R&D works performed using "MTS-model" software is also given.

UDC 629.5.08

Key words: towing fleet, tug thrust augmentation, propulsion/steering gear, tow and mooring operations.

S.A. Kiselev, A.A. Petrov Tow force as an optimal characteristic to determine the number of tugs required in port // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 52 – 55.

Results are given of a study on developing normative documents to determine the tug number required and that available for tow and mooring operations in port. It is stated that the use of lower consumption engines and automation level growth resulted in an appreciable decrease of propulsion unit losses involving the tow force growth in modern tugs as compared to those of the turn of the last century. It is suggested that the tug tow force be used as an optimal characteristic to determine the required tug number.

УДК 629.54

Ключевые слова: мониторинг, техническое состояние корпусов морских судов.

Баскакова Е.В., Кочегаров В.П. Мониторинг технического состояния корпусов морских судов // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 56 – 61.

Мониторинг технического состояния корпусов морских судов в эксплуатации рассматривается как процесс периодического наблюдения, регистрации параметров и оценки состояния корпусных конструкций по заданным критериям. Приводятся результаты анализа существующей системы мониторинга на базе применения требований Регистра. Показаны основные пути развития автоматизированных систем мониторинга в мировой практике. Сформулированы основные требования к программному обеспечению с учетом того, что в процессе мониторинга участвуют судовладелец, компания, выполняющая замеры толщин, и классификационное общество.

УДК 629.561.5

Ключевые слова: глобальная ледовая нагрузка, модельный эксперимент, ледовый опытовый бассейн, математический метод.

Добродеев А.А., Сазонов К.Е., Тимофеев О.Я. Глобальная ледовая нагрузка на морские инженерные сооружения. Методы определения // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 61 – 65.

Рассмотрены различные подходы к определению глобальной ледовой нагрузки, базирующиеся на нормативных документах, разработке математической модели взаимодействия проектируемого сооружения со льдом, проведении модельного эксперимента в ледовом опытовом бассейне. Также описано новое направление среди методов определения глобальной ледовой нагрузки – вероятностное моделирование. Анализ представленной информации позволил сделать вывод о порядке и возможности применения указанных методов в ходе проектирования морского инженерного сооружения.

УДК 629.53

Ключевые слова: крупнотоннажные парусно-моторные суда, оценка остойчивости, критерий погоды.

Кутейников М.А., Ярисов В.В. Предложения по корректировке требований Регистра к оценке остойчивости крупнотоннажных парусно-моторных

UDC 629.54

Key words: monitoring, technical condition of sea-going ship hull.

Ye.V. Baskakova, V.P. Kochegarov Monitoring the technical condition of sea-going ship hulls // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 56 – 61.

In-service monitoring of sea-going ship hull technical condition is contemplated as a process of periodical survey, parameter registration and assessing the hull-structural condition against predefined criteria. The results of current monitoring system appraisal on the basis of RS requirements are presented. The main trends of automated monitoring system development in world practice are demonstrated. Basic requirements for software are formulated with due regard for the fact the shipowner, company engaged in thickness measurement and classification society are participants to the monitoring process.

UDC 629.561.5

Key words: global ice load, model experiment, ice model basin, mathematical method.

A.A. Dobrodeyev, K.Ye. Sazonov, O.Ya. Timofeyev Global ice load on offshore engineering structures. Determination methods // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 61 – 65.

Various approaches to global ice load determination are considered, which are based on normative documents, developing the mathematical model of designed structure interaction with ice and model experiments in the ice model basin. Also described is the new trend among the global ice load determination methods, namely, probabilistic modelling. The review of submitted information made it possible to conclude on the procedure and opportunity for applying the above methods for offshore engineering structure design.

UDC 629.53

Key words: large power-sail ships, stability assessment, weather criterion.

M.A. Kuteinikov, V.V. Yarisov Proposals for correcting the RS requirements to large motor-sail ship stability assessment // Research Bulletin by Russian

судов // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 66 – 73.

На основании теоретико-экспериментальных исследований предложен практический алгоритм оценки остойчивости крупнотоннажных парусно-моторных судов с использованием парусного вооружения. Представлены рекомендации по уточнению отдельных пунктов части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов РС.

УДК 669.14:620.17

Ключевые слова: Arc-стали, сертификация, хладостойкость, методики испытаний.

Башаев В.К., Ильин А.В., Филин В.Ю., Гусев М.А. Об определении хладостойкости современных высокопрочных сталей для арктических конструкций // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 74 – 79.

Хладостойкость судокорпусных сталей при сертификации и производстве контролируется определением температур вязко-хрупкого перехода: T_k – при ударном изгибе образцов Шарпи, $T_{кб}$ – при анализе изломов в полной толщине, NDT – на образцах с хрупкой наплавкой и т.д. Соотношения критических температур зависят от толщины стали и технологии производства из-за масштабного эффекта и неодинакового сопротивления распространению разрушения образцов различных типов. На основе результатов испытаний по программам Регистра рассмотрено влияние этих факторов и предложено уточнение испытательных методик.

УДК 62-19

Ключевые слова: машины-аналоги, сравнительные испытания, удельная масса двигателя, весовые коэффициенты показателей качества, стоимостные показатели.

Дорохов А.Ф., Дорохов П.А. Сравнительная оценка качества судовых дизелей // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 80 – 85.

Приводится методика сравнительной оценки качества механических установок (машин) по определенной совокупности их параметров, которая может быть использована при аттестации качества, обосновании планов создания новой техники, анализе конкурентоспособности и т. п. Предлагаемый алгоритм: для оцениваемой машины подбирается один или несколько аналогов, после чего производится

Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 66 – 73.

Based on theoretical and experimental research, a practical algorithm is suggested for assessing the stability of large power-sail rigged ships. Recommendations are presented on specifying particular paragraphs of Part IV "Stability" in RS Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships.

UDC 669.14:620.17

Key words: Arc-steels, certification, cold resistance, test procedures.

V.K. Bashayev, A.V. Ilyin, V.Yu. Filin, M.A. Gusev Cold resistance determination in modern higher-strength steels for arctic structures // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 74 – 79.

During certification and production, the cold resistance of hull-structural steels is controlled by determining the visco-brittle transition temperature: T_k for Charpy specimen impact bending, $T_{кб}$ for through-thickness fracture analysis, NDT for brittle build-up specimens, etc. Critical temperature ratios depend on steel thickness and manufacturing process due to scale effect and non-uniform fracture propagation resistance in specimens of different type. Proceeding from test results obtained under RS programs, the effect of those factors was considered and specifications to the test procedures suggested.

UDC 62-19

Key words: analogous machinery, comparison tests, specific engine mass, weight coefficients of quality indicators, cost indices.

A.F. Dorokhov, P.A. Dorokhov Comparative assessment of marine diesel engine quality // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 80 – 85.

A procedure for machinery plant (machinery) comparative assessment is described, which is based on a particular combination of parameters that may be used for quality attestation, substantiation of new equipment design plans, competitive ability evaluation, etc. Suggested algorithm: one or more analogs are chosen for each machine after which the numerical values of their characteristics are compared. Single estimates thus

сопоставление числовых значений их показателей. Получаемые единичные оценки рассматриваются дифференцировано или сводятся к суммарному показателю и служат основанием для принятия решения об уровне качества и конкурентоспособности машины.

УДК 62-12

Ключевые слова: высокооборотный дизель, инновационные технологии, импортозамещение.

Коновалов В.В., Хильченко С.В., Архипов А.О., Бойко В.В. Новое поколение судовых дизельных двигателей и дизель-генераторов ОАО «ЗВЕЗДА» // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 86 – 94.

Приведено описание нового семейства высокооборотных дизельных двигателей и дизель-генераторных установок ОАО «ЗВЕЗДА», созданных в рамках ФЦП «Национальная технологическая база», отвечающих стратегическим программам возрождения и развития отечественного судостроения, целевым программам импортозамещения и развития ВМФ России. Даны описание инновационной технологии проектирования и перечень реализованных потребительских конкурентных преимуществ двигателей нового поколения, определивших перспективные сегменты применимости.

УДК 629.12.037

Ключевые слова: суда двойного действия, пропульсивные и кавитационные качества винтов, виброактивность.

Борусевич В.О., Габерцеттель Ф.И., Пустошный А.В., Фролова И.Г. О развитии требований к движителям судов двойного действия // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 94 – 97.

Рассмотрены вопросы проектирования движителей судов двойного действия с учетом современных требований к прочности, пропульсивным и кавитационным качествам, виброактивности. Проанализированы результаты натурных испытаний НЭС «Академик Трешников» при работе во льдах, в том числе кормой вперед. Приведены расчеты прочности винтов, спроектированных по действующим правилам, и продемонстрирована необходимость дальнейших исследований по данному вопросу, в частности, в целях адаптации соответствующего раздела Правил классификации и постройки морских судов Регистра к судам двойного действия.

obtained are either considered individually or reduced to a total indicator and serve as the basis for the resolution on the quality level and competitive ability of the machine.

UDC 62-12

Key words: high-speed diesel engine, innovative technology, import substitution.

V.V. Konovalov, S.V. Khilchenko, A. O. Arkhipov, V.V. Boiko A new generation of marine diesel engines and generators built by "ZVEZDA", JSC // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 86 – 94.

A new generation of high-speed marine diesel engines and generator sets built by "ZVEZDA", JSC is described, which were designed under the auspices of the Federal Target Program "National Technological Basis" in line with the strategic programs of native shipping revival and development as well as target programs for import substitution and Russian Navy development. Innovative design technology is described and a list given of consumer-oriented competitive advantages of the new engine generation which were implemented thus forecasting the promising applicability segments.

UDC 629.12.037

Key words: double-action ships, propulsive and cavitation performance of propellers, vibroactivity.

V.O. Borusevich, F.I. Gaberzettel, A.V. Pustoshny, I.G. Frolova Development of requirements for double-action ship propulsors // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 94 – 97.

Issues associated with the design of double-action ship propulsors are considered with due regard for current demands in respect of strength, propulsive and cavitation performance as well as vibroactivity. Full-scale test results obtained for research ship "Akademik Treshnikov" during ice navigation including astern movement are reviewed. Strength calculations for propellers designed in accordance with current Rules are presented and the need for further research into the matter is demonstrated for purposes including, among others, the adaptation of the relevant section in the RS Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships to double-action ships.

УДК 629.12:532.582.5.001.5

Ключевые слова: движитель, ледовый момент, тяга, минимальная мощность.

Сазонов К.Е. Оценка изменений тяговых характеристик движительного комплекса судна, двигающегося задним ходом во льдах // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 97 – 100.

Выполнена оценка изменения тяговых характеристик движительного комплекса судна, двигающегося задним ходом во льдах. Показано, что это изменение связано с ледовыми воздействиями на движитель, приводящими как к снижению частоты вращения движителя, так и возникновению дополнительного ледового упора, наличие которого может приводить к возрастанию скорости движения судна. Отмечено, что при относительно невысоком уровне ледовых воздействий на движитель всегда происходит падение тяговых характеристик на 8 – 10%. Предложено учитывать это при назначении уровня минимальной мощности энергетической установки.

УДК 629.12: 539.32

Ключевые слова: контейнер-цистерна, полимерные композиционные материалы, мультимодальные перевозки, продукты химии и нефтехимии.

Ушаков А.Е., Сергеичев И.В., Фетисов А.В., Докучаев С.В. Разработка и сертификация контейнера-цистерны с несущим сосудом из полимерных композиционных материалов для мультимодальных перевозок продуктов химии и нефтехимии // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 101 – 105.

Определяются методические подходы и формулируются задачи для обеспечения сертификации проектируемого контейнера-цистерны с сосудом из полимерных композиционных материалов на основе анализа существующих нормативных требований Кодекса ММОГ (IMDG Code) и Соглашения ДОПОГ (ADR) и разрабатываемых методик определения расчетных характеристик применяемых композиционных материалов. Учитываются возможные формы разрушения материалов при действии нормативных расчетных и испытательных нагрузок.

UDC 629.12:532.582.5.001.5

Key words: propulsor, ice moment, thrust, minimal power.

K.Ye. Sazonov Assessment of propulsion performance modifications in the propulsion unit of ship in astern movement in ice // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 97 – 100.

An assessment of propulsion performance modifications in the propulsion unit of ship in astern movement in ice was made. It is demonstrated that the modifications are due to ice effects upon the propulsor, which involve both propulsor speed reduction and additional ice thrust that might bring about an augmentation of ship speed. It is noted that in case of a relatively low level of ice effects upon the propulsor the propulsion performance will always drop by 8 – 10 %. It is proposed to take this into consideration when fixing the minimal propulsion unit power level.

UDC 629.12:539.32

Key words: tank container, polymer composite materials, multimodal transportation, chemical and petrochemical products.

A.Ye. Ushakov, I.V. Sergeichev, A.V. Fetisov, S.V. Dokuchayev Development and certification of tank container comprising a holding vessel of polymer composite materials for multimodal transportation of chemical and petrochemical products // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 101– 105.

Methodological approaches are determined and tasks formulated to ensure the certification of a tank container comprising a holding vessel of polymer composite materials and being designed on the basis of current normative requirements contained in IMDG Code and ADR Agreement, and methods being developed to determine the design characteristics of the composite materials used. Eventual types of the materials destruction under normative design and test loads are taken into consideration.

УДК 621.643.053:624.042(204)

Ключевые слова: подводные трубопроводы, сейсмический риск.

Муравьева Л.В. Анализ сейсмического риска эксплуатации трубопроводов, прокладываемых по дну Каспийского моря // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 106 – 109.

Отмечено, что повреждения подводных трубопроводов при сейсмических воздействиях приводят к экологическим катастрофам, вследствие чего при проектировании необходимо учитывать конструктивные и технологические параметры для повышения сейсмостойкости подводного трубопровода. Выполнены расчеты сейсмического риска эксплуатации трубопровода, проложенного по дну Каспийского моря. Расчеты прочности трубопроводов основываются на классических методиках и численном моделировании, которые учитывают совокупность действующих расчетных нагрузок, граничных условий и параметров сопротивления труб.

УДК 656.612.033

Ключевые слова: подготовка экипажей судов, критерии опыта, суда для перевозки СПГ.

Коноплев М.А. Основные аспекты подготовки экипажей судов для перевозки СПГ // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 110 – 112.

Приводится детальная оценка рисков, связанных с аспектами подготовки экипажей для работы на судах, перевозящих сжиженный природный газ (СПГ), с учетом бурного развития перевозок СПГ и открытости глобального рынка по найму моряков. Проанализировано создание кадрового резерва для работы на судах, перевозящих СПГ, в группе компаний ПАО «Совкомфлот».

УДК 504.06:534.83

Ключевые слова: суда, автоматизация, условия труда, здоровье моряков, комплектование экипажа, безопасность судоходства.

Никитина В.Н., Ляшко Г.Г., Разлетова А.Б. Проблемы обеспечения безопасности мореплавания автоматизированных морских судов // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – Вып. 38/39. – 2015. – С. 113 – 116.

UDC 621.643.053:624.042(204)

Key words: subsea pipelines, seismic risks.

L.V. Muraviyeva Analysis of seismic risks associated with the operation of pipelines laid on the Caspian Sea bottom // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 106 – 109.

It is noted that damage to subsea pipelines due to seismic effects results in ecological disasters. Therefore, structural and technological parameters are to be taken into consideration during the design to increase the seismic resistance of subsea pipelines. Calculations of seismic risks associated with the operation of piping laid on the Caspian Sea bottom were made. Pipeline strength calculations are based on classical methodology and numerical simulation considering the totality of design loads to be applied, border line conditions and pipe resistance parameters.

UDC 656.612.033

Key words: ship crew training, experience criteria, LNG carriers.

M.A. Konoplev Main aspects of ship crew training for LNG carriage // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 110 – 112.

A detailed assessment of risks associated with various aspects of crew training for the service on board LNG carriers is presented in view of rapid development of LNG carriage and the openness of global seafarer recruitment market. Personnel reserve establishment by PAO Sovcomflot Group to man LNG carriers is appraised.

UDC 504.06:534.83

Key words: ships, automation, labour conditions, seafarers' health, ship manning, maritime safety.

V.N. Nikitina, G.G. Lyashko, A.B. Razlyotova Maritime safety assurance on board automated sea-going ships // Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping. – Vol. 38/39. – 2015. – P. 113 – 116.

Рассмотрены вопросы гигиены труда и состояния здоровья моряков. Представлены проблемы в области обеспечения безопасности рейсов морских автоматизированных судов. Показана необходимость разработки научно-обоснованных национальных правил по определению минимального безопасного состава экипажа и системного подхода к профилактике инцидентов на море по причине человеческого фактора.

Matters associated with occupational hygiene and seafarers' health condition are considered. Problems in the sphere of safety assurance on board automated sea-going ships during the voyage are presented. The need for developing scientifically grounded national rules to determine minimum safe manning condition and systemic approach to preventing sea incidents due to human element is demonstrated.

ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЕЙ

Материал статьи должен являться оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, соответствовать профилю журнала. Он должен содержать информацию, подтверждающую актуальность и практическую значимость исследования, а также информацию о внедрении его результатов.

Авторы несут личную ответственность за то, что текст статьи не содержит материалов:

- рекламного характера;
- содержащих государственную тайну;
- публикация которых приведет к нарушению действующего законодательства РФ в сфере защиты информации и интеллектуальной собственности.

В тексте статьи может быть указан источник финансирования выполненных исследований.

К материалу должна быть приложена рецензия (отзыв) за подписью рецензента, имеющего ученую степень и опыт работы по данному научному направлению. Формат рецензии доступен на интернет-сайте издания (<http://www.rs-class.org/ru/register/research/ntsb/>). Статьи для аспирантов должны быть подписаны их научным руководителем.

Материалы для публикации в журнале предоставляются авторами на безвозмездной основе.

Общие требования к оформлению материалов.

1. Объем материалов в электронном виде должен составлять не более 20 000 печатных знаков. В этот объем включаются таблицы, схемы, диаграммы и т.д., а также изображения в виде иллюстраций.

2. Статья должна содержать следующую информацию.

- **Заглавие** на русском и английском языках, точно отражающее содержание статьи (не более 120 печатных знаков).

- **Фамилию, имя, отчество автора:** (приводятся полностью). Количество указанных авторов статьи не должно превышать 4 чел.

- **Сведения об авторе:** ученые степень и звание, должность, место работы (принятое в уставе организации официальное название и логотип), город, телефон и адрес электронной почты автора, фото автора (разрешение – не менее 300 dpi, форматы JPEG, TIFF).

- **Индекс УДК.**

- **Аннотацию** к статье: рекомендуемый объем – 500 печатных знаков. В аннотации должны быть четко определены основные цели, задачи, содержание и

результаты проведенного исследования, возможности его практического применения. Приводится на русском и английском языках.

- **Ключевые слова:** 3 – 5 слов/словосочетаний, наиболее полно отражающих тему статьи. Недопустимо использование слов общего характера (например, проблема, решение). Предоставляются на русском и английском языках (*Key words*).

- **Основной текст статьи:** общие принципы построения статьи могут варьироваться в зависимости от тематики и особенностей проведенного исследования. Рекомендуется выделять в тексте статьи постановку задачи, описание методов решения, анализ результатов и выводы. Если имеется перевод статьи на английский язык, желательно его представить.

- **Список литературы:** приводится в конце статьи, оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003. Библиографические ссылки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. В статью рекомендуется использовать не более 10 источников.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕКСТА

- Редактор – MS Word.

- Шрифт: Times New Roman, размер шрифта – 14, цвет – черный, начертание – обычное. Интервал между строками – 1,5; абзацный отступ – 1,25; ориентация – книжная; поля – 2 см со всех сторон. Текст должен быть выровнен по ширине. Красные строки обязательны.

- Разделы статьи (кроме «Введение» и «Выводы») нумеруются арабскими цифрами. Допускается не нумеровать разделы (заголовки), служащие лишь для акцентирования тем в небольшом тексте.

- Нумерация пунктов и в списках – арабскими цифрами.

- Ссылки на источник в списке литературы нумеруются арабскими цифрами и приводятся в тексте в квадратных скобках.

- Подстрочные примечания (вынесенные из основного текста в конец полосы) связываются с текстом сносками в виде арабских цифр и нумеруются в пределах каждой отдельной полосы (страницы). Цифры набираются на верхнюю линию шрифта.

- Кавычки оформляются символами «...» для наименований, набранных кириллицей, и символами "...» для наименований, набранных латиницей.

3. ОФОРМЛЕНИЕ ФОРМУЛ, ТАБЛИЦ И ИЛЛЮСТРАЦИЙ

- Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation 3.0 (MS Word) или символьным шрифтом. Вставки формул в виде картинок любого формата не допускаются. Размер кегля для формул – 12. Формулы, если их больше одной и если на них есть ссылки, нумеруются арабскими цифрами в круглых скобках по правому краю полосы.

- Таблицы, если их больше одной, должны быть пронумерованы. Таблицы должны иметь заголовки, если только они не следуют сразу за текстом, однозначно определяющим их содержание. Номер таблицы и заголовок размещаются над таблицей. Таблицы должны быть выполнены в MS Excel или MS Word и встроены в текст статьи. Вставка таблиц в виде картинок любого формата не допускается. Размер кегля для таблиц – 11.

- Иллюстрации (рисунки), если их больше одной (одного), должны быть пронумерованы и иметь подпись (если только содержание иллюстрации не понятно однозначно из предшествующего текста). Графические, фотоматериалы должны быть представлены в форматах JPEG, TIFF, быть качественными и иметь разрешение не менее 300 dpi.

4. РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ СТАТЕЙ

Текст статьи в электронном виде и в твердой копии следует направлять непосредственно в научно-исследовательский отдел Главного управления Регистра на имя главного редактора журнала. Статья может быть представлена на соответствующей секции Научно-технического совета Регистра и передана ученым секретарем секции в научно-исследовательский отдел вместе с заключением о возможности опубликования.

Рецензирование статьи осуществляет Редакционная коллегия Регистра с привлечением специалистов соответствующих секций Научно-технического совета. По результатам рецензирования статья может быть принята, отклонена или направлена автору на доработку.

Материалы, не утвержденные Редакционной коллегией к размещению в журнале, возвращаются автору с объяснением причины отказа в публикации.

В оформлении издания использовались графические материалы
из открытых источников сети интернет:

<http://gibka-rezka-svarka.ru/>
<http://ns.abunda.ru/84637-ogromnye-vinty-bolshix-korablej-27-foto.html>
<http://www.cloveritservices.com/Home.aspx>
www.fonstola.ru/
www.wallpapers.ru/
<http://www.ye42oester.nl/>
<http://miraziz.uz/>
<http://www.radioscanner.ru/>
<http://xn--24-dlcyxgbyj.xn--80asehdb/?p=4257>
<http://www.russiapost.su/archives/12268>
<http://utimenews.org/ru/>
<http://kmtip.ru/>
<http://www.efg-berlin.de/>
Фото на обложке ФГУП "Атомфлот"

Российский морской регистр судоходства
Журнал
«Научно-технический сборник
Российского морского регистра судоходства»
вып. 38/39

Редакционная коллегия
Российского морского регистра судоходства

Ответственные за выпуск *А.В. Зухарь, М.Р. Маркушина*
Редактор *Е.Б. Мюллер*
Компьютерная верстка *С.С. Лазарева*
Дизайн концепции *М.В. Батракова*

Подписано в печать 30.06.15. Формат 60 × 84/8
Усл. печ. л.: 14,8. Уч.-изд.л.: 14,1. Тираж 500

Российский морской регистр судоходства
191186, Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, 8
www.rs-class.org/ru/