

ISSN 2949-3684

ВЕСТНИК
МОРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 101 / 2025

Вестник Морского государственного университета. Вып. 101 / 2025 / Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2025. — 62 с. ; цв. ил., табл. — Библиогр. в конце ст. — ISSN 2949-3684.

Вестник Морского государственного университета содержит публикации, посвященные актуальным нормативно-организационным, техническим и технологическим проблемам судоходства и безопасности мореплавания, судоремонта, судовых силовых установок и их элементов, логистических транспортных систем и гидрографии, автоматизации и управления технологическими процессами, обработки информации, системного анализа и управления процессами перевозок на морском транспорте. Материалы содержат теоретические выводы и практические рекомендации, которые могут быть использованы для развития научных направлений и для принятия инженерных, административных и коммерческих решений.

Дата выхода в свет - 29 декабря 2025 г. Выходит четыре раза в год.

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-82589 от 30.12.2021.

Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского».

Адрес учредителя, издателя и редакции: 690003, Россия, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а. Электронная почта редакции: vestnik@msun.ru; телефон редакции: +7 (423) 251-76-36.

Главный редактор – Соболенко Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор.

Заместитель главного редактора – Рычкова Виктория Феликсовна, начальник управления научно-исследовательской и инновационной деятельности.

Научный редактор – Холоша Михаил Васильевич, кандидат технических наук, доцент.

Выпускающий редактор – Баранникова Анастасия Олеговна, кандидат исторических наук.

Редакционная коллегия:

Азовцев Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор;

Буров Денис Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент;

Войлошников Михаил Владиленович, доктор технических наук, профессор;

Глушков Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор;

Друзь Иван Борисович, доктор технических наук, профессор;

Дыда Александр Александрович, доктор технических наук, профессор;

Лазарев Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;

Луговец Александр Анатольевич, доктор экономических наук, доцент;

Москаленко Михаил Анатольевич, доктор технических наук, профессор;

Надежкин Андрей Вениаминович, доктор технических наук, профессор;

Огай Сергей Алексеевич, доктор технических наук, доцент;

Оськин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент;

Холоша Михаил Васильевич, кандидат технических наук.

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Бойко С.П., Семенюк Л.А., Фролов Е.В. Саморегенирующиеся фильтры повышенной эффективности для отчистки смазочных материалов на судах: анализ конструкции и моторная эффективность.....	4
Семенюк Л.А., Кича Г.П., Надежкин А.В. Кинетика загрязнения и очистки моторного масла в ДВС при различных режимах его долива и использовании комбинированных маслоочистительных комплексов.....	16
A.V. Darmenko, M.I.Tarasov. The energy potential of wastewater from marine technology enterprises.....	26

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

Мотрич В.Н. Развитие концепции системы аварийной буксировки.....	30
------------------------------------------------------------------	----

ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Шаркевич А.В., Москвин Д.Д. Дефицит кадров как главная угроза транспортной безопасности.....	57
----------------------------------------------------------------------------------------------	----

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

УДК 621.892.096:629.3

Саморегенирующиеся фильтры повышенной эффективности для очистки смазочных материалов на судах: анализ конструкции и моторная эффективность

Бойко Сергей Петрович,¹ канд. техн .наук, доцент, boykoland@mail.ru

Семенюк Людмила Анатольевна,¹ старший преподаватель, semenuk@msun.ru

Фролов Евгений Владимирович,¹ аспирант,

¹ Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток

Подчеркнута значимость научных изысканий, направленных на создание судового очистителя топлива и моторных масел, обладающего высокими показателями тонкой очистки и пропускной способности. Отмечаются недостатки существующих решений, проявляющиеся в низкой степени очищения, недостаточной регенеративной способности и ограниченном ресурсе автономного функционирования, что затрудняет применение данных устройств в современных автоматизированных системах энергетических установок судов. Особое внимание уделено проблемам износа судовых дизельных двигателей вследствие перехода на высоко вязкое низкосернистое топливо с примесями абразивных компонентов, образующихся при переработке нефтепродуктов методом каталитического крекинга. Для минимизации негативных последствий подчеркивается необходимость организации надежной и эффективной подготовки топлива и смазочных материалов в течение продолжительного периода (3–5 тыс. часов) без вмешательства обслуживающего персонала. Предложены и обоснованы ключевые направления совершенствования конструкций саморегенерирующихся фильтров, среди которых важное значение отводится применению специально разработанных тканевых фильтрующих материалов с оптимальной структурой, обеспечивающей высокий уровень разделения примесей и легкую регенерацию. Представлена конструкция фильтрующего элемента в виде свечи, позволяющая повысить прочность изделия, коэффициент свободного пространства и эффективное использование всей площади фильтрующей поверхности как в рабочем, так и в промывочном режимах.

Ключевые слова: ресурсосберегающее маслоиспользование, очистка топлива и масла, фильтрование, саморегенерирующийся фильтр, сепарирование, регенерация.

High-efficiency self-regenerating filters for cleaning lubricants on ships: design analysis and motor efficiency

Boyko Sergey P.,¹ Associate Professor, boykoland@mail.ru

Semenyuk Lyudmila A.,¹ semenuk@msun.ru

Frolov Evgeny V.,¹

¹ Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

The importance of scientific research aimed at creating a marine fuel and engine oil purifier with high levels of fine purification and throughput is emphasized. The disadvantages of existing solutions, such as their low level of purification, insufficient regenerative capacity, and limited au-

tonomous operation, are noted, making it difficult to use these devices in modern automated ship power systems. Special attention is paid to the problems of wear of marine diesel engines due to the transition to high-viscosity low-sulfur fuel with impurities of abrasive components formed during the processing of petroleum products by the method of catalytic cracking. To minimize the negative consequences, the need to organize reliable and efficient preparation of fuel and lubricants for a long period (3–5 thousand hours) without intervention of the maintenance personnel is emphasized. Key directions of improvement of the designs of self-regenerating filters are proposed and substantiated, among which the application of specially developed fabric filter materials with an optimal structure, providing a high level of separation of impurities and easy regeneration, is of great importance. The design of a filter element in the form of a candle is presented, which allows to increase the strength of the product, the coefficient of free space and the effective use of the entire area of the filter surface in both working and washing modes.

Keywords: resource-saving oil use, fuel and oil purification, filtration, self-regenerating filter, separation, and regeneration.

Введение

Вопрос энергосбережения и продления сроков службы судовых энергетических установок становится всё более актуальным ввиду возрастающего спроса на высококачественное топливо и моторные масла. Однако современные условия эксплуатации предполагают широкое использование низкосортных видов топлива, полученных путём каталитического крекинга нефти, содержащих частицы алюминия и кремния размерами 5–20 микрон, оказывающие крайне негативное влияние на двигатель [1]. Эти вещества обладают выраженными абразивными свойствами, приводящими к ускоренному износу важнейших узлов мотора, таких как цилиндро-поршневая группа, подшипники и элементы топливной аппаратуры.

Для снижения отрицательного воздействия указанных факторов необходимо применять эффективные средства очистки ГСМ, обеспечивающие надёжную эксплуатацию механизмов в составе судовых энергоустановок. Анализ показывает, что наиболее перспективным решением являются самогенерирующиеся фильтры, позволяющие достигать высоких показателей долговечности и работоспособности без частых профилактических мероприятий. Такие фильтры способны непрерывно функционировать в течение длительного времени (до 3–5 тыс. часов), существенно продлевая сроки службы основных агрегатов и увеличивая общую надежность энергоснабжения судна [2,3].

Разработчики новых типов фильтров руководствуются накопленным опытом и результатами предыдущих исследований, направляя усилия на достижение максимальной технологической и экономической эффективности создаваемых изделий. Это достигается путем оптимизации геометрических параметров фильтрующих материалов, улучшения конструкционных решений и внедрения прогрессивных технологий обработки загрязненных сред. Применение таких фильтров позволяет существенно сократить затраты на техническое обслуживание и ремонт, одновременно повышая безопасность и экологичность эксплуатации морского транспорта.

Принципы конструирования объекта исследований и его особенности

Проведенный анализ конструкций СРФ, используемых в системах топливо- и маслоподготовки на судах торгового и рыбопромыслового флота, показал их низкую эффективность [4]. Большинство очистителей не способны фильтровать ММ с низкой моюще-диспергирующей способностью, так как их ФЭ забиваются отложениями уже через 50–100 ч рабо-

ты. Особенно это характерно для масел группы Б₂ и В₂ (ГОСТ 17479.1-85) и при очистке топлив, имеющих парафинистую основу [5, 6].

Существующие СРФ отечественного производства имеют низкую регенерирующую способность, потому что в большинстве случаев удаление отложений с фильтруемой перегородки осуществляется воздухом. Из-за его низкой вязкости и слабого промывного импульса полное восстановление фильтровальных свойств фильтрующей перегородки не происходит. Постоянное накопление на ней отложений приводит к необходимости осуществлять разборку фильтра и мойку ФЭ уже через 100–200 ч его работы. Автономность работы большинства СРФ прогрессивных конструкций не превышает тысячи часов необслуживаемой работы [1, 4].

Предпосылкой для разработки СРФ высокой эффективности послужили теоретические исследования рабочих процессов автоматизированных фильтров [7, 8]. Были созданы модели этих процессов, в которых идентифицировано влияние различных факторов на фильтрование и регенерацию. В разработанных моделях были предложены для СРФ тканые сетки полотняного переплетения, обладающие высокой способностью отфильтровывать из ГСМ нерастворимые загрязнения и хорошо регенерироваться. По результатам теоретических и экспериментальных исследований были разработаны принципы повышения эффективности СРФ, которые вылились в новые инженерные решения по совершенствованию саморегенерирующихся (автоматизированных) топливо- и маслоочистителей (рис. 1).

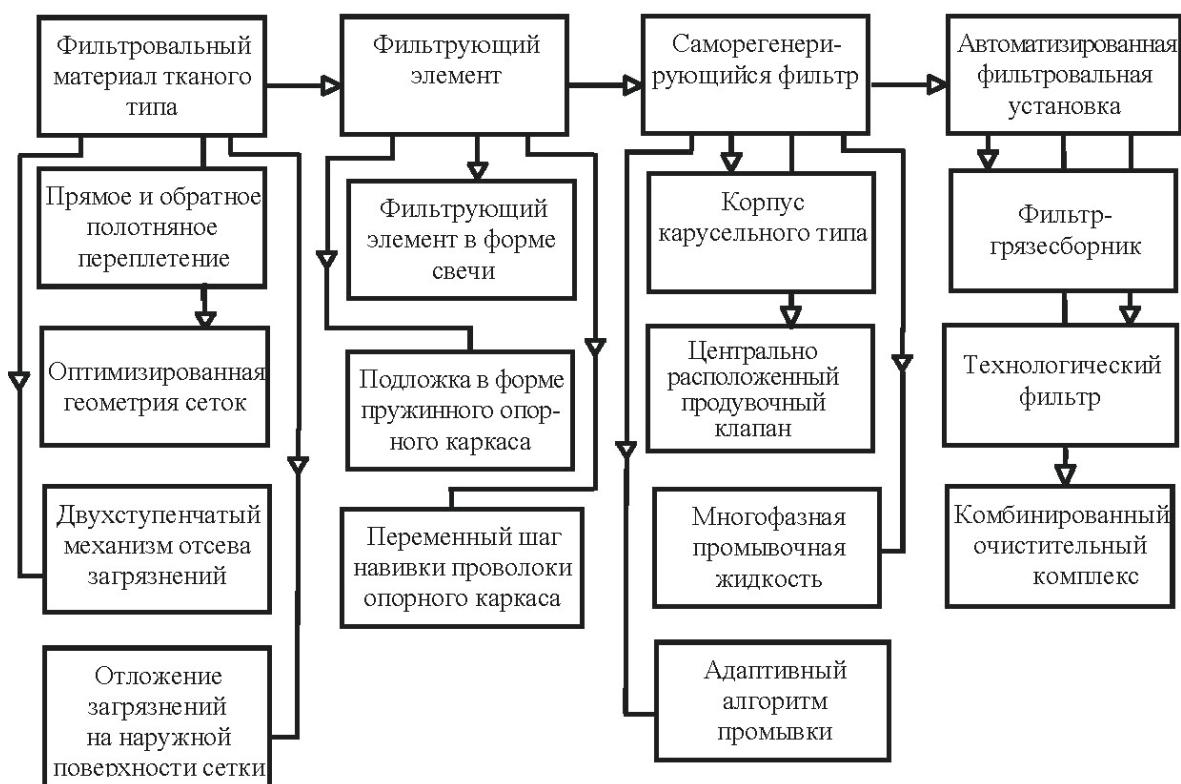


Рисунок 1 – Новые научно-технические решения по совершенствованию СРФ

Главной целью разработок в области СРФ была комплектация судовой автоматизированной фильтровальной установки агрегатами, обеспечивающими ее высокоэффективное функционирование. Применительно к системе смазки (СС) судового дизеля комплектация автоматизированной фильтровальной установки включает (рис. 1) фильтр-грязесборник, технологический (сигнальный) фильтр и комбинированный очистительный комплекс, содержащий СРФ и сепаратор центробежный (СЦ) тарельчатый. Такая комплектация показала высо-

кую эффективность в самых тяжелых условиях функционирования [3,9], когда дизель имел значительную форсировку по среднему эффективному давлению при сжигании тяжелого высоковязкого топлива.

Новое направление в развитии СРФ указало на необходимость значительного увеличения скорости промывной жидкости [3], что требует создания мощного промывочного импульса, т.е. высокого давления продувки и большой площади проходного сечения промывного клапана. Использование многофазной промывной жидкости с последующей доочисткой воздухом способствует качественному удалению отложений. Адаптивный режим промывки, когда частота и продолжительность регенерации подстраивается под адгезионные свойства отложений, приводит к высокой автономности работы СРФ [10].

Конструкция ФЭ в форме свечи оптимальна с позиции ее прочности и качественного смыва отложений. Пружинный опорный каркас придает подложке высокую жесткость и хорошую проницаемость. Переменный шаг навивки проволоки решетки создает условия для полного использования всей поверхности ФЭ в режиме фильтрования и регенерации.

Достоинство тканого фильтровального материала полотняного переплетения состоит в возможности геометрией сетки управлять ее задерживающей и регенерирующей способностью. При определенных соотношениях шага основы, диаметра основной и уточной нитей (проводок) можно добиться накопления большей части отложений на поверхности сетки, что способствует лучшему смыву отложений. При этом возможно двухступенчатое фильтрование, когда в очистке участвует наружный и внутренний участки фильтровальной перегородки [4].

Конструкция саморегенерирующегося фильтра и его работа

Саморегенерирующийся фильтр типа СРФД с высокой регенерирующей способностью и длительным сроком необслуживаемой работы был разработан в Морском государственном университете имени адмирала Г.И. Невельского. Существенную роль в расчетах рабочих параметров очистителя СРФД играют теоретические исследования, выполненные в этой организации [7, 9], позволившие моделировать параметры фильтрования и регенерации, обеспечившие высокую тонкость и полноту отсева нерастворимых загрязнений из ГСМ при эффективном удалении отложений с ФЭ агрегатов очистки. Фильтр разрабатывался для использования в автоматизированных СЭУ при очистке ММ с высокими моюще-диспергирующими свойствами и низкосортного топлива со значительной адгезией отложений на фильтровальной перегородке. Пропускная способность очистителя ММ составляет 120–360 м³/ч в зависимости от количества фильтровальных камер, их может быть от 2 до 6. При очистке масла номинальная тонкость отсева составляет 30–50 мкм, топлива – 10–20 мкм. Число камер топливного фильтра не превышает 3 с пропускной способностью до 30 м³/ч.

Составными частями фильтра типа СРФД являются (рис. 2) основание 1, корпус 2 и фильтровальные камеры 3 с располагаемыми в них элементами 4. В корпусе имеются сообщающиеся каналы А и Б для подвода и отвода жидкости к фильтровальным камерам. В нем же располагается общий патрубок для отвода потребителю очищенного масла или топлива. Аналогичный патрубок подвода фильтруемой жидкости в очиститель и патрубок отвода отложений (загрязненного продукта) располагается в основании фильтра.

В центральной части корпуса размещен распределитель потоков 5 и распределительный золотник 6. Последний смонтирован в камеру продувочного воздуха 7, располагаемую на корпусе фильтра. На камере продувочного воздуха смонтирован переходной патрубок, к которому крепится электропривод 8 поворотного механизма распределителя. Камера продувочного воздуха снабжена впускным электроуправляемым клапаном 11 и невозвратным устрой-

ством (клапаном) 10. Распределитель потоков 5 разделяет в корпусе полости подвода загрязненной и отвода очищенной жидкости, распределяет ее по фильтровальным камерам. Кроме того, он осуществляет организацию обратного потока для удаления отложений из фильтровальных камер и ФЭ.

Фильтровальные камеры 3 располагаются на корпусе вертикально по кругу на одинаковом удалении от оси фильтра. В камере может находиться в зависимости от типоразмера очистителя от 10 до 20 ФЭ. Сверху камера снабжена поплавковым устройством с невозвратным клапаном для удаления из нее воздуха.

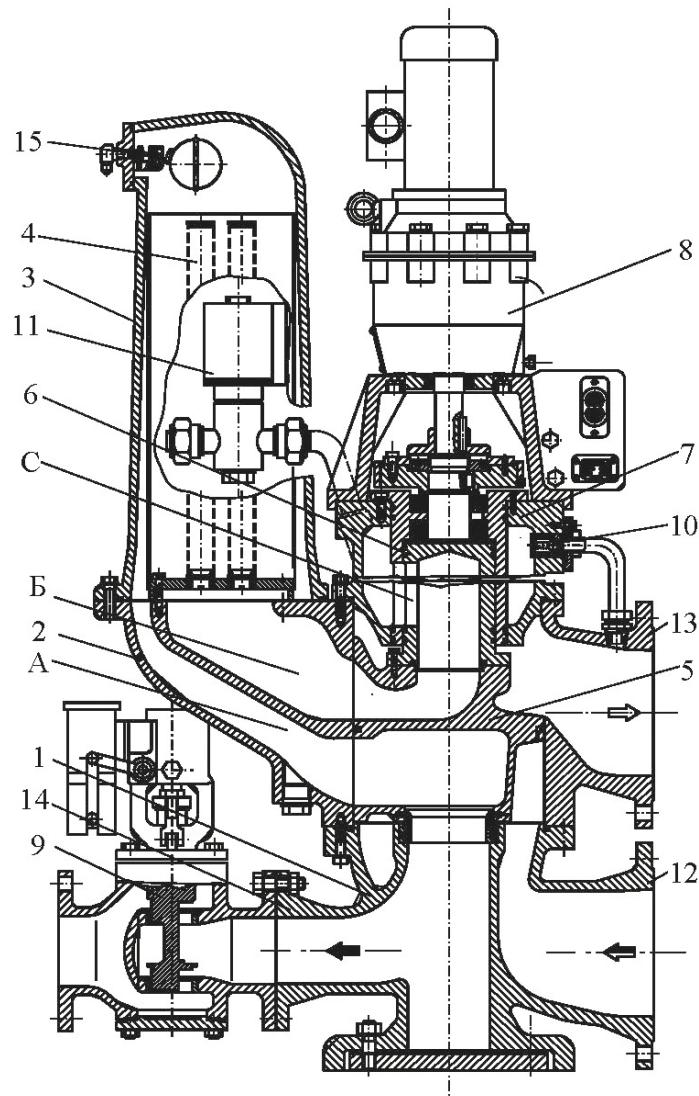


Рисунок 2 – Саморегенерирующийся фильтр СРФД-120

Схема работы фильтра следующая. Загрязненное топливо или масло поступает в нижнюю кольцевую полость А, отверстия которой располагаются по периметру центральной цилиндрической полости корпуса. Через них загрязненная жидкость поступает к ФЭ фильтровальных камер, где проходит очистку. Отфильтрованная жидкость после прохождения через элементы попадает в полость очищенного продукта Б и далее через выпускной патрубок 13 – потребителю нефтепродукта.

Режим фильтрования будет осуществляться во всех камерах, доступ к которым открыт из выпускной зоны 12 через полость А, а полость Б сообщена с внутренней полостью выпуск-

ного патрубка 13. Фильтрование наблюдается при смещении выступа (хобота) распределителя 5 в положение (на рис. 2 оно не показано), когда полость А и Б сообщаются с полостью впускного 12 и выпускного 13 патрубков. Этот режим может осуществляться во всех камерах при нейтральном расположении распределителя, когда все входные отверстия полости А и выходные полости Б открыты. Возможно положение распределителя, при котором рассматриваемые полости перекрыты (рис. 2) и в одной из камер осуществляется регенерация или она находится в режиме готовности для включения в фильтрование.

При повышении перепада давлений на фильтре до 0,08–0,1 МПа осуществляется регенерация одной или всех камер. В первом случае в работу включается резервная камера. А одна из работающих в режиме фильтрования регенерируется и переходит в режим резервирования. Но основная схема работы СРФД-120 состоит в поочередной регенерации ФЭ всех камер и переводе регенерирующего устройства в нейтральное положение. В этом случае все камеры включены на фильтрование. При достижении граничного перепада давлений на фильтре автоматика с помощью электропривода 8 ставит распределительное устройство в положение, показанное на рис. 2, при котором камера выводится из процесса фильтрования и готовится к регенерации ФЭ. К этому моменту в продувочной камере 7 находится под давлением 0,3–0,5 МПа масло(топливо)-воздушная эмульсия, приготовленная по специальному циклу подачи в камеру через клапан 11 воздуха и поступления через штуцер 10 нефтепродукта.

Алгоритм регенерации заключается в обратном движении нефтепродукта из полости Б через ФЭ под давлением воздуха, находящегося в продувочной камере 7. Этот процесс начинается при открытии клапана 9. Смыываемые с ФЭ загрязнения через патрубок 14 и клапан 9 попадают в фильтр-грязесборник. После вытеснения жидкости из фильтровальной камеры через ФЭ последовательно проходит масло или топливо, далее эмульсия, схлопывание пузырьков которой приводит к разрушению отложений. Окончательно продувание ФЭ воздухом через электроуправляемый клапан способствует полному удалению загрязнений. При закрытии клапанов 9 и 11 регенерация завершается, включается поворотное устройство, подводящее распределительное устройство к следующей по ходу поворота камере. В ней проходит вышеописанный цикл. Фильтровальная камера, прошедшая регенерацию, заполняется очищаемой жидкостью, и в ней возобновляется фильтрование. Пройдя поочередно циклы регенерации, распределительное устройство занимает нейтральное положение. В таком состоянии распределительное устройство не сопрягается ни с одной из камер, и они функционируют в режиме фильтрования. При адаптивном режиме промывки ФЭ регенерация будет осуществляться, пока перепад давлений на фильтре не снизится до нижнего регламентируемого уровня. В этом случае процесс регенерации длится до полного восстановления гидравлических и очистительных характеристик фильтра.

Результаты испытаний саморегенерирующегося фильтра

Автоматизированная фильтровальная установка, включающая четырехкамерный саморегенерирующийся маслоочиститель СРФД-120 и центробежный самоочищающийся сепаратор СОСЦ-3, прошла эксплуатационные испытания на судах. Она входила в состав комбинированного маслоочистительного комплекса дизеля 8М35ВФ-2 (8ДН35/62) ($P_{ен}=1942$ кВт, $p_{me}=0,8$ МПа, $n_d=5,2$ с⁻¹). Ее эффективность по влиянию на состояние циркуляционного ММ и двигателя сравнивалась с результатами, наблюдаемыми при комплектации системы СС рассматриваемого энергетического блока штатными средствами очистки масла (ШСО) – саморегенерирующим фильтром СРФ БМЗ Брянского машиностроительного завода и сепаратором СЦ-1,5 (табл. 1).

Судовой эксперимент осуществлялся в соответствии с требованиями стандарта ОСТ24.060.09-89 этапами по 2 тыс. ч работы дизеля. Использовалось масло М-10-Г₂(цс) (ГОСТ 12337-84) и судовое маловязкое топливо (ТУ 38.101587-87). Масло при работе на каждом этапе испытаний продолжительностью 2 тыс. ч не менялось. Угар масла восполнялся его доливом в СС через каждые 50 ч работы. Его угар на протяжении всего периода испытаний был одинаковый и составлял 1,8–2,1 г/(кВт·ч). Нагрузка на дизель соответствовала 74–78 % его номинальной мощности [11].

Подготовка дизеля к испытаниям состояла в полной очистке поршней от нагаров, взвешивания компрессионных и маслосъемных колец, вкладышей мотылевых подшипников, нарезания на цилиндровых втулках лунок.

Замер износа поршневых колец и вкладышей подшипников осуществлялся по потере их веса за этап испытаний взвешиванием на аналитических весах ВЛА-200. Лунки на цилиндровых втулках нарезали прибором УПОИ-6 в пяти поясах по шести образующим. Его же использовали для контроля длины лунок до и после этапа испытаний. Перевод длины лунок в износ по диаметру осуществляли по специальным таблицам [4]. На каждом этапе замер делали дважды – до и после испытаний. Фиксацию износа шеек коленчатого вала проводили также как цилиндровых втулок – с использованием метода искусственных баз, нанося и контролируя лунки с помощью прибора УПОИВ-2. Нагарообразование на поршнях после каждого этапа испытаний фиксировали по результатам оценок площади, толщины и твердости нагара по методу 344Т [2, 4, 10].

Таблица 1 – Характеристики штатного и опытного комбинированного маслоочистительного комплекса

Показатель	Штатный комплект	Опытный комплект
Тип полнопоточного маслоочистителя	СРФ БМЗ	СРФД-12
Пропускная способность полнопоточного фильтра, м ³ /ч Промывочный индекс, отн. ед.	120 0,6	0 120
Тонкость отсева, мкм	90	3 30
Тип байпасно подключаемого центробежного сепаратора	СЦ-1,5	
Номинальная пропускная способность тарельчатого сепаратора, м ³ /ч	1,5 3306	СОСЦ-3 3
Индекс производительности сепаратора, м ²	3200	5254
Фактор разделения, отн. ед.		4300

Пробы циркуляционного масла на анализ отбирались через каждые 100 ч работы как с опытными, так и штатными средствами очистки. В работающем ММ концентрацию нерастворимых в бензине общих и зольных продуктов контролировали центрифугированием (ГОСТ 20684-75). Щелочность и кислотность масла проверяли по ГОСТ 11362-76, содержание смол идентифицировали на основе ИК-спектроскопии [4]. Глубину (степень) окисления масла находили хроматографией через отношение интегральной интенсивности поглощения карбонилсодержащих соединений –C=0 к группе –C=C– ароматических ядер.

Подводя итоги моторных испытаний штатной и новой автоматизированной системы очистки ММ (табл. 2), можно отметить превосходство последней по многим показателям. Если рассматривать влияние очистителей на старение масла, то можно отметить более интенсивное удаление нерастворимых продуктов при сочетании СРФД-120 и СОСЦ-3. Интенсивность очистки ММ как от общих, так и от зольных примесей у опытной системы по сравнению со штатной была выше в 4,7–6,6 раза. Это привело к тому, что к концу этапов испытаний загрязнение масла нерастворимыми продуктами было почти вдвое (1,3 против 2,5 % по общим и 0,28 в сравнении с 0,46 % – по зольным примесям) ниже при включении в СС двигателя фильтра СРФД-120 и сепаратора СОСЦ-3. Это бесспорно сказалось на снижении скорости изнашивания деталей ЦПГ в 1,4–1,5, а вкладышей подшипников – в 1,3–1,7 раза.

По подшипникам и шейкам коленчатого вала низкое изнашивание достигнуто эффективной работой фильтра СРФД-120 (номинальная тонкость отсева 30 против 90 мкм у штатного полнопоточного очистителя). В снижении скорости изнашивания поршневых колец и цилиндровых втулок большую роль сыграл сепаратор СОСЦ-3, индекс производительности которого почти в 1,6 раза превосходит аналогичный показатель у штатного сепаратора СЦ-1,5.

Если обобщенно оценивать состояние масла на первом (со штатными очистителями) и втором (при автоматизированной его очистке), то по данным табл. 2 наглядно видна низкая интенсивность его старения при использовании агрегатов СРФД-120 и СОСЦ-3. Это подтверждается меньшей степенью окисления углеводородов и срабатывания присадок в работающем масле и видно по более низкому содержанию в ММ продуктов корбоксильной группы и смол на втором этапе работы по сравнению с первым (9,7 против 10,2 % и 5,2 – 6,9 % соответственно). О более низкой скорости срабатывания присадок при использовании СОСЦ-3 можно судить по уровню щелочности в конечных пробах масла. На втором этапе работы щелочность упала с 9 до 6,2 мг КОН/г. На первом этапе падение этого показателя было более значительно – до 3,7 мг КОН/г.

Таблица 2 – Эффективность очистки комбинированных маслоочистительных комплексов в дизеле 8ДН35/62

Показатель	Штатная очистка	СРФД-120+ СОСЦ-3
<i>Состояние моторного масла:</i>		
Концентрация нерастворимых примесей, %:		
общих	2,5±0,3	1,3±0,1
зольных	0,46±0,07	0,28±0,04
Содержание смолистых веществ, %	6,9±0,8	5,2±1,1
Глубина окисления, %	10,2±1,3	9,7±1,1
Кислотность, мг КОН/г	4,1±0,5	2,7±0,4
Щелочность, мг КОН/г	3,7±0,5	6,2±0,7
<i>Старение и очистка масла, г/ч:</i>		
Интенсивность очистки от нерастворимых продуктов:		
общих	1240±50	5870±250
зольных	248±11	1630±90
Скорость срабатывания присадок	3100±160	1140±50
Периодичность обслуживания СРФ, тыс. ч	1,7±0,3	5,3±0,6
<i>Изнашивание деталей двигателя:</i> поршневых колец, г/1000 ч цилиндровых втулок, мкм/1000 ч вкладышей подшипников (моторных), г/1000 ч шеек (моторных) коленчатого вала, мкм/1000 ч <i>Оценка нагаро-лакообразования, балл:</i>		
канавки компрессионных и маслосъемных колец юбка поршня суммарная оценка	18,2±2,1 15,2±1,9 9,2±0,15 9,3±0,7	12,6±1,1 10,2±0,9 7,1±0,11 5,5±0,6
	8,1±0,7 2,2±0,3 20,2±2,3	5,2±0,5 1,5±0,2 14,9±1,6

Лучшие показатели масла с опытными очистителями обусловлены снижением (табл. 2) интенсивности срабатывания присадок в 2,7 раза. Улучшение состояния ММ при использовании новых средств очистки вызвано более интенсивным удалением из него зольных продуктов срабатывания присадок, которые являются ингибиторами старения (окисления) углеводородов.

Улучшение состояния ММ существенным образом сказывается на нагаро- и лакообразовании поршней. Менее интенсивное его старение на втором этапе привело к снижению количества и твердости нагара на деталях ЦПГ. В балльной системе оценка нагаро- и лакообразования показала на втором этапе испытаний по сравнению с первым снижение нагаров на всех поверхностях поршня в среднем на треть (табл. 2). В сравниваемых вариантах загрязнение картера ДВС шламовыми отложениями на втором этапе было гораздо ниже – в 1,8 раза.

По результатам контроля остаточного перепада давлений на ФЭ к концу каждого этапа эксперимента расчетом по методике [9,12] определяли прогнозируемый срок необслуживаемой работы СРФ. Автономность функционирования маслоочистителя СРФД-120 по этому показателю было в 3,2 раза выше, чем у СРФ БМЗ. Последующая длительная эксплуатация дизеля 8ДН32/62 со штатной и опытной комбинированной системой тонкой очистки масла подтвердила высокую надежность и автономность работы нового фильтра в более тяжелых

условиях эксплуатации, т.е. при применении ММ с более низкими моюще-диспергирующими свойствами, чем у М-10-Г₂(цс). Превосходство СРФД-120 над другими маслоочистителями особенно ярко проявлено при использовании в судовых тронковых дизелях низкосортных высоковязких топлив типа топочный мазут [2, 5].

По результатам моторных испытаний комбинированной полностью автоматизированной системы тонкой очистки масла на базе фильтра СРФД-120 и сепаратора СОСЦ-3 можно констатировать, что она способна обеспечить судовому тронковому дизелю надежную защиту от абразивного изнашивания при сжигании высоковязких топлив (ГОСТ 32510-2013), получаемых при глубокой переработке нефти. Интенсивное удаление сепарированием нерастворимых, особенно зольных, мелкодисперсных примесей в работающих унифицированных маслах типа М-10(14, 16)-Г₂(цс), М-14(16)-Д₂(цл20) и М-14(16)-Д₂(цл30) (ГОСТ 12337-89) способствует торможению их старения, что создает предпосылки для их длительного использования без смены, компенсируя только угар. Предлагаемая на базе фильтра СРФД-120 и сепаратора СОСЦ-3 комбинированная система тонкой очистки ММ способствует высокой степени автоматизации СС современных судовых дизелей и создает предпосылки для реализации в них ресурсосберегающего маслоиспользования.

Заключение

Подробно рассмотрены инновационные подходы к компоновке и функционированию фильтровальных блоков, предусматривающие последовательное чередование воздействия потока очищаемых жидкостей, воздушных эмульсий и сжатого воздуха, что обеспечивает качественное удаление загрязнений. Подчеркнуто наличие возможности адаптации процесса регенерации фильтра в зависимости от свойств загрязнений и особенностей используемого фильтрующего материала.

Реализован пилотный проект саморегенерирующегося фильтра СРФД-120 со сроком автономной работы без обслуживания не менее 3 тыс. ч. При номинальной тонкости отсева 30–50 мкм и пропускной способности 120 м³/ч он способен надежно защищать подшипники и шейки коленчатого вала судовых дизелей от абразивного изнашивания. На базе этого фильтра возможно создание типоразмерного ряда полнопоточных маслоочистителей с пропускной способностью до 360 м³/ч. При замене в СРДФ-120 фильтровой сетки на тканый фильтровальный материал полотняного переплетения с тонкостью отсева 10–20 мкм его можно трансформировать в топливный фильтр с пропускной способностью 30 м³/ч.

Проведённые испытания показали значительное повышение надежности защиты дизельного двигателя от преждевременного износа благодаря сочетанию полноценного фильтрования и дополнительного сепарационного эффекта. Использование нового устройства позволило уменьшить скорость старения моторного масла и продлить период его бесперебойной службы даже в сложных условиях эксплуатации двигателей повышенной мощности, работающих на тяжелых видах топлива. Продолжительность непрерывной работы предлагаемого маслоочистителя достигает заявленного уровня в 3–5 тыс. часов без остановки для профилактического обслуживания.

Высокая эффективность нового очистителя СРФД-120 как в режиме фильтрования, так и регенерации обусловлена:

- применением тканых сеток полотняного переплетения оптимизированной структуры с хорошо сбалансированной очистительной и регенерирующей способностью;

- жесткой конструкцией ФЭ в форме свечи с высоким коэффициентом живого сечения опорного каркаса и полным использованием всей поверхности фильтрования при обоих режимах функционирования;

—достижением у фильтра высокого промывочного индекса за счет мощной продувки обратным многофазным потоком фильтруемой жидкости и воздушно-капельной эмульсии, аддитивного режима регенерации, учитывающего адгезионные свойства отложений.

Моторные испытания комбинированной полностью автоматизированной системы тонкой очистки масла на базе полнопоточного фильтрования и байпасного центробежного сепарирования показали возможность реализации ресурсосберегающего маслоиспользования в судовых тронковых дизелях. При этом даже при сжигании высоковязкого низкосортного топлива обеспечивается надежная защита деталей двигателя от абразивного изнашивания и перевод ММ с высокими термоокислительными и моюще-диспергирующими свойствами в режим долгоработающего и бесстенного использования. Предложенная система очистки масла эффективнее большинства штатных систем. Она соответствует снижению интенсивности старения ММ в 1,4–1,7 раза и скорости изнашивания основных деталей двигателя на 30–60 %.

Экспериментальные исследования подтвердили, что новая система превосходит традиционные схемы фильтрации, снижая степень износа силовых агрегатов на 40–60%, обеспечивая экономичное расходование ресурса двигателя и значительный рост общей производительности энергетической установки судна.

Список литературы

1. Микутёнок, Ю. А. Смазочные системы дизелей / Ю. А. Микутёнок, В. А. Шкаренко, В. Д. Резников. – Л.: Машиностроение, 1986. – 125 с.
2. Кича, Г. П. Эксплуатационная эффективность новых маслоочистительных комплексов в форсированных дизелях / Г. П. Кича // Двигателестроение. – 1987. – № 6. – С. 25–29.
3. Кича, Г. П. Результаты эксплуатационных испытаний саморегенерирующегося фильтра в судовых дизелях в составе комбинированного маслоочистительного комплекса / Г. П. Кича, А. В. Надёжкин, С. П. Бойко // Вестн. Гос. ун-та морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2019. – № 4(56). – С. 718–726.
4. Кича, П. П. Анализ конструкций маслоочистителей и включение их в систему смазки судовых дизелей / П. П. Кича, Л. А. Семенюк // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2016. – № 3–4. – С. 93–99.
5. Бойко, С. П. Конструкция и эффективность саморегенерирующегося фильтра с высокой регенерирующей способностью для очистки горючо-смазочных материалов на судах / С. П. Бойко, Н. С. Молоков, И. С. Ярин // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2021. – Т. 55, № 1. – С. 76–86.
6. Кича, Г. П. Решение проблемы высокоэффективной очистки моторного масла в судовых дизелях : автореф. дис. ... д-ра технических наук: 05.08.05 / Кича Геннадий Петрович. – Владивосток, 1992. – 46 с.
7. Надежкин, А. В. Имитационная модель трибодиагностики двигателей внутреннего сгорания / А. В. Надежкин, А. В. Безвербный, Г. П. Кича // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. – № 3. – С. 6–14.
8. Кича, Г. П. Новые инженерные решения в конструкциях саморегенерирующихся фильтров для очистки топлив и масел / Г. П. Кича, Н.К. Пак // Морские интеллектуальные технологии. – 2013. – № 1(19). – С. 54–59.
9. Кича, Г. П. Саморегенерирующийся фильтр новой конструкции для очистки топлив и смазочных масел на судах / Г. П. Кича, А. В. Надежкин, Н. К. Пак // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2013. – № 1. – С. 203–207.

- 10.Бойко, С. П. Экспериментальное моделирование эффективности процесса регенерации самоочищающихся фильтров, функционирующих в системах смазки судовых дизелей / С. П. Бойко, Г. П. Кича // Морские интеллектуальные технологии. – 2015. – Т. 1, № 3(29). – С. 95–101.
- 11.Бойко, С. П. Расчет параметров регенерации самоочищающихся фильтров смазочных систем судовых дизелей / С. П. Бойко, Г. П. Кича, А. В. Надёжкин // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – Т. 2, № 1(47). – С. 123–130.
- 12.Воробьев, Б. Н. Стохастическое моделирование разделения сложных гетерогенных систем судовых устройств на основе представлений и аппарата случайных марковских процессов // Б. Н. Воробьев, А. В. Надежкин, Г. П. Кича // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. № 3(37). – Т. 2. – С. 112–120.

Поступила в редакцию 15 декабря 2025 г.

Кинетика загрязнения и очистки моторного масла в ДВС при различных режимах его долива и использовании комбинированных маслоочистительных комплексов

Семенюк Людмила Анатольевна,¹ старший преподаватель, semenuk@msun.ru

Кича Геннадий Петрович,¹ д-р техн. наук, профессор, kicha@msun.ru

Надежкин Андрей Вениаминович,¹ д-р техн. наук, профессор, nadezkin@msun.ru

¹ Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток

Приведены аналитические выражения для расчета кинетики старения моторного масла при его использовании в ДВС. Новизна зависимостей для определения концентрации нерастворимых продуктов в масле для любого периода его работы заключается в учете режимов долива и эффективности очистки.

Ключевые слова: ресурсосберегающее маслоиспользование, система смазки, моторное масло, очистка масла, фильтрование, центрифугирование, старение масла.

Kinetics of engine oil pollution and purification in internal combustion engines with different modes of topping it up and using combined oil cleaning systems

Semenyuk Lyudmila A.,¹ semenuk@msun.ru

Kicha Gennadiy P.,¹ kicha@msun.ru

Nadezhkin Andrey V.,¹ nadezkin@msun.ru

¹ Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

Analytical expressions are given for calculating the kinetics of aging of engine oil when it is used in an internal combustion engine. The novelty of the dependencies for determining the concentration of insoluble products in oil for any period of its operation is to take into account the top-up modes and cleaning efficiency.

Keywords: resource-saving oil use, lubrication system, engine oil, oil purification, filtration, centrifugation, oil aging.

Применение комбинированных систем тонкой очистки моторного масла (ММ) в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) является наиболее эффективными средством сохранения его эксплуатационных свойств на высоком уровне в течении длительного времени [1,2]. Система включает в себя полнопоточный фильтр и центробежный очиститель. Данное сочетание маслоочистителей наиболее рациональное при работе двигателей на тяжелых сортах

топлива, а также при различных режимах нагружения и при применении масел с металлосодержащими присадками.

При работе двигателя в рассматриваемых условиях в ММ в большом количестве накапливаются продукты его старения, внешнего загрязнения и срабатывания присадок, что провоцирует повышенный износ деталей двигателя, влияет на его надежность, ресурсные показатели, срок службы и расход масла. Следовательно, целесообразно детально изучить процесс накопления нерастворимых продуктов в ММ двигателя, система смазки (СС) которого оснащена комбинированными агрегатами очистки.

Фильтр является надежным средством защиты пар трения от попадания наиболее опасных, вызывающих изнашивание дизеля, крупных частиц, а центробежный очиститель поддерживает низкий уровень мелкодисперсных нерастворимых продуктов в циркуляционном масле, способствующих его старению. Для более экономичной и ресурсосберегающей работы средства очистки и само моторное масло должны быть подобраны с учетом параметров ДВС, режимов его работы и качества применяемого топлива [2]. Индикатором соответствия перечисленных элементов являются показатели работающего масла. Следовательно, расчет загрязнения ММ нерастворимыми продуктами при оснащении ДВС различными по принципу действия очистителями, является актуальной задачей.

В реальных условия эксплуатации двигателя характерным режимом работы СС является периодический долив свежего масла с полной компенсацией угоревшего. Еще одним немаловажным фактором, влияющим на кинетику накопления нерастворимых продуктов (НРП) в масле, является переменная интенсивность его очистки. В применяемых очистителях, с разным принципом действия, этот процесс протекает по-разному: у фильтров по мере накопления отложений и увеличении продолжительности работы происходит улучшение качества очистки, а у центробежного очистителя (ЦО) наоборот, при накоплении отложений в роторе фактор разделения и интенсивность очистки падают [3,4].

Вывод кинетического уравнения накопления механических примесей в циркуляционном масле двигателя с комбинированной системой очистки базируется на следующих допущениях [4,5]:

- нерастворимые продукты поступают в ММ с постоянной скоростью;
- загрязнения равномерно распределяются в масле;
- примеси, находящиеся в масле, из-за моющего действия моющее-диспергирующих присадок на стенках картера, деталях двигателя и элементах его СС (кроме фильтра и центрифуги) не осаждаются;
- скорость удаления нерастворимых продуктов из масла очистителями пропорциональна их текущей интенсивности очистки;
- интенсивность очистки центрифуги уменьшается из-за накопления отложений пропорционально изменению объема ее ротора, а у фильтра этот показатель увеличивается по мере «срабатывания» грязеемкости;
- количество загрязнений, удаляемых из СС вместе с угорающим маслом, пропорционально их текущей концентрации и коэффициенту угары;
- свежее масло заливаемое в картер, а также доливаемое в СС, примесей не имеет.

Исходя из выше перечисленных допущений, составим уравнение баланса НРП в дифференциальной форме. За время $d\tau$ в масло поступает $a d\tau$ продуктов загрязнения, а удаляется средствами очистки и выгорает:

$$Q_{\text{Ц}} (c_x - c_{x(\text{Ц})}) d\tau = Q_{\text{Ц}} \varphi_{\text{Ц}} c_x d\tau, \quad Q_{\text{Ф}} (c_x - c_{x(\text{Ф})}) d\tau = Q_{\text{Ф}} \varphi_{\text{Ф}} c_x d\tau, \quad Q_{\text{y}} K_y c_x d\tau, \quad ,$$

где a – скорость загрязнения масла НРП, кг/ч;

$Q_{\text{Ц}}$ и $Q_{\text{Ф}}$ – пропускная способность центрифуги и фильтра, кг/ч;

Q_y – скорость угары масла, кг/ч;

$c_{x(\text{ц},\phi)}$ – концентрация НРП после ЦО и фильтра, отн.ед.;

c_x – концентрация продуктов загрязнения в масле, отн.ед.;

K_y – коэффициент угары загрязнений, отн.ед.

Общее количество масла в СС ко времени t

$$G = G_0 - (Q_y - Q_d)\tau,$$

где G – текущее значение количества масла в системе, кг;

G_0 – первоначальная масса залитого в СС масла, кг;

Q_d – скорость долива масла, кг/ч.

Уравнение материального баланса загрязнения масла НРП:

$$adt - Q_{\text{ц}}\varphi_{\text{ц}}c_xd\tau - Q_{\phi}\varphi_{\phi}c_xd\tau - Q_yK_yc_xdt = Gdc_x, \quad (1)$$

где $\varphi_{\text{ц}(\phi)} = (c_x - c_{x(\text{ц},\phi)})/c_x$ – коэффициент полноты отсева НРП из масла очистителем, показывающий, какая часть проходящего через центрифугу или фильтр ММ подвергается полной очистке.

После ряда несложных преобразований получим линейное неоднородное дифференциальное уравнение первого порядка:

$$\frac{dc_x}{d\tau} + \frac{Q_{\text{ц}}\varphi_{\text{ц}} + Q_{\phi}\varphi_{\phi} + Q_yK_y}{G}c_x = \frac{a_x}{G}. \quad (2)$$

Решение методом вариации произвольной постоянной дает окончательное выражение для расчета количества загрязнений в ММ при непрерывном доливе масла и работе ДВС без его долива [3,6]:

$$c_x = c_{x0}\exp\left[-\frac{Q_{\text{ц}}\varphi_{\text{ц}} + Q_{\phi}\varphi_{\phi} + Q_yK_y}{G_0}\tau\right] + \frac{a_x}{Q_{\text{ц}}\varphi_{\text{ц}} + Q_{\phi}\varphi_{\phi} + K_yQ_y} \times \times \left(1 - \exp\left[-\frac{Q_{\text{ц}}\varphi_{\text{ц}} + Q_{\phi}\varphi_{\phi} + Q_yK_y}{G_0}\tau\right]\right); \quad (3)$$

$$c_x = c_{x0}\left(1 - \frac{Q_y\tau}{G_0}\right)^{\frac{Q_{\text{ц}}\varphi_{\text{ц}} + Q_{\phi}\varphi_{\phi} + K_y}{Q_y}} + \frac{a_x}{Q_{\text{ц}}\varphi_{\text{ц}} + Q_{\phi}\varphi_{\phi} + K_yQ_y} \left[1 - \left(1 - \frac{Q_y\tau}{G_0}\right)^{\frac{Q_{\text{ц}}\varphi_{\text{ц}} + Q_{\phi}\varphi_{\phi} + K_y}{Q_y}}\right]. \quad (4)$$

Выражение для получения основных эксплуатационных характеристик полнопоточного фильтра было получено путем теоретических обобщений и аппроксимации результатов расчета [4,7]. В общем виде разделительная способность нетканых синтетических фильтровальных материалов (ФМ) и пропитанной смолой специальной бумаги может быть представлена зависимостью:

$$\varphi_{d\phi} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{d}{b_{\phi}}\right)^{p_{\phi}}\right], \quad (5)$$

где $\varphi_{d\phi}$ – фракционный коэффициент отсева, отн.ед.;

d – диаметр частиц дисперсной фазы (ДФ), мкм;

b_ϕ и p_ϕ параметры масштаба и формы задерживающей способности ФМ, мкм, отн. ед.

Характеристика задерживающей способности волоконного ФМ посредством этих показателей универсальная и может быть использована при оценке эффективности любого очистителя.

Параметр b_ϕ связан с номинальной тонкостью отсева фильтровальной перегородки и может быть выражен через параметры структуры ФМ:

$$b_\phi = \frac{2\sqrt{\pi}b_\lambda \sqrt{\frac{2\bar{d}_v}{\eta_h h_{\text{ФМ}}}}}{1 - \exp(p_\lambda)}, \quad (6)$$

где \bar{d}_v – средний диаметр волокна, мкм;

$h_{\text{ФМ}}$ – толщина ФМ, мкм;

b_λ , p_λ – параметр масштаба и формы распределения свободных длин волокон в поровой структуре материала, мкм, отн.ед.;

η_h – плотность укладки волокон, отн. ед.

Фракционный коэффициент отсева $\varphi_{d_{\text{ц}}}$ ЦО может быть определен через его конструктивные и эксплуатационные параметры:

$$\varphi_{d_{\text{ц}}} = \frac{R_{\text{ц}}^2}{R_{\text{ц}}^2 - r_0^2} \left[1 - \exp \left(- \frac{\rho_{\text{эф}} V_p \omega^2 \eta_{\text{ц}} d^2}{9 Q_{\text{ц}} \mu_m} \right) \right], \quad (7)$$

где $R_{\text{ц}}$ и r_0 – радиус ротора и его колонки, м;

$Q_{\text{ц}}$ – пропускная способность центрифуги, м³/с;

V_p – вместимость ротора центрифуги, дм³;

$\eta_{\text{ц}}$ – коэффициент, учитывающий гидродинамическое совершенство очистителя;

ω – скорость вращения ротора, рад/с;

$\rho_{\text{эф}}$ – эффективная плотность частиц ДФ, кг/дм³,

d – диаметр частиц ДФ, м;

μ_m – динамическая вязкость масла, Па·с.

При задании фракционного состава загрязнителя по массе в дифференциальной форме функцией $F(d)$ коэффициент полноты отсева $\varphi_{\Phi(\text{ц})}$ для сложных поровых структур и центрифуг может быть идентифицирован интегрированием выражения:

$$\varphi_{\Phi(\text{ц})} = \int_0^{d_{\text{max}}} \varphi_{d\Phi(\text{ц})} F(d) dd. \quad (8)$$

По мере заполнения емкости ротора центрифуги отложениями коэффициент полноты отсева $j_{\text{ц}}$ этого маслоочистителя (МО) и соответственно его интенсивность очистки $Q_{\text{ц}} j_{\text{ц}}$ уменьшаются. Аналитическое выражение для текущей интенсивности очистки можно представить уравнением [4]:

$$Q_{\text{ц}} \varphi_{\text{ц}} = Q_{\text{ц}} \varphi_{\text{ц}0} \left(1 - \frac{g_{\text{ц}} \lambda_{\text{ц}}}{V_{\text{ц}} \rho_{\text{ц}}} \right), \quad (9)$$

где $Q_{\text{ц}} j_{\text{ц}}$ – интенсивность очистки центрифуги ко времени t ее работы в СС дизеля, кг/ч;

$g_{\text{ц}}$ – количество нерастворимых продуктов, собранных ЦО за время t , кг;

$\lambda_{\text{ц}}$ – плотность отложений в роторе центрифуги, кг/дм³;

$l_{\text{ц}}$ – отношение массы отложений в роторе ЦО к количеству сухой фазы нерастворимых загрязнений;

Интенсивность очистки масла фильтром по мере накопления отложений на фильтрующей шторе будет меняться по закону [1]:

$$Q_{\phi} \varphi_{\phi} = Q_{\phi} \varphi_{\phi 0} \left[1 - A_g \frac{g_{\phi} \lambda_{\phi}}{G_{\phi 0}} \right]^{-2n_{\phi}}, \quad (10)$$

где $Q_{\phi} \varphi_{\phi 0}$, $Q_{\phi} \varphi_{\phi}$ – начальная и текущая интенсивность очистки фильтра, кг/ч;

g_{ϕ} – масса НРП, накопившихся на фильтрующей перегородке за время τ , кг;

$G_{\phi 0}$ – грязеемкость фильтра, кг;

λ_{ϕ} – отношение массы отложений на элементах фильтра к количеству НРП;

A_g – доля загрязнений, отложившаяся на поверхности ФМ;

n_{ϕ} – показатель, зависящий от закона фильтрования [1].

Скорость удаления НРП фильтром и центрифугой зависит от текущей концентрации этих продуктов в масле и наблюдаемой на данный момент интенсивности фильтрования и центрифугирования:

$$a_{\text{п}} = Q_{\text{п}} \varphi_{\text{п}0} c_x \left(1 - \frac{g_{\text{п}} \lambda_{\text{п}}}{V_{\text{п}} \rho_{\text{п}}} \right), \quad a_{\phi} = Q_{\phi} \varphi_{\phi 0} c_x \left(1 - A_g \frac{g_{\phi} \lambda_{\phi}}{G_{\phi 0}} \right)^{-2n_{\phi}}. \quad (11, 12)$$

Далее, используя соотношения $Q_{\phi} \varphi_{\phi}(g_{\phi})$, $Q_{\text{п}} \varphi_{\text{п}}(g_{\text{п}})$, можно рассчитать текущие концентрации примесей и интенсивность очистки каждого агрегата.

Расчет c_x ведется циклами продолжительностью Dt , в течение которой эффективность очистки принята неизменной. В конце каждого цикла осуществляется пересчет показателей $Q_{\phi} \varphi_{\phi}$ и $Q_{\text{п}} \varphi_{\text{п}}$ на новый уровень исходя из накопившихся отложений в очистителе за предыдущий период их работы.

Основу расчета c_x составляют уравнения (4) и (5), трансформированные для периода Dt из условий, что концентрация нерастворимых примесей в масле в конце предыдущего цикла его работы известна. За каждый цикл рассчитывается прирост отложений в МО и корректируется интенсивность очистки, с которой будет функционировать СС на следующем этапе работы.

Расчет кинетики загрязнения и очистки ММ ведется на основе взаимосвязанных уравнений следующих систем, соответствующих непрерывному (13) и периодическому (14) доливам масла в СС дизеля:

$$\left. \begin{aligned} c_{xi} &= c_{x(i-1)} \exp \left(- \frac{Q_{\phi} \varphi_{\phi(i-1)} + Q_{\text{п}} \varphi_{\text{п}(i-1)} + K_y Q_y}{G_0} \Delta \tau \right) + \\ &+ \frac{a_x}{Q_{\phi} \varphi_{\phi(i-1)} + Q_{\text{п}} \varphi_{\text{п}(i-1)} + K_y Q_y} \times \\ &\times \left[1 - \exp \left(- \frac{Q_{\phi} \varphi_{\phi(i-1)} + Q_{\text{п}} \varphi_{\text{п}(i-1)} + K_y Q_y}{G_0} \Delta \tau \right) \right]; \\ \Delta g_{\phi i} &= \frac{Q_{\phi} \varphi_{\phi(i-1)}}{Q_{\phi} \varphi_{\phi(i-1)} + Q_{\text{п}} \varphi_{\text{п}(i-1)} + K_y Q_y} \left[a_x \Delta \tau - (c_{xi} - c_{x(i-1)}) G_0 \right] \\ \Delta g_{\text{п}i} &= \frac{Q_{\text{п}} \varphi_{\text{п}(i-1)}}{Q_{\phi} \varphi_{\phi(i-1)} + Q_{\text{п}} \varphi_{\text{п}(i-1)} + K_y Q_y} \left[a_x \Delta \tau - (c_{xi} - c_{x(i-1)}) G_0 \right] \\ Q_{\phi} \varphi_{\phi i} &= Q_{\phi} \varphi_{\phi 0} \left[1 - A_g \frac{(g_{\phi(i-1)} + \Delta g_{\phi i}) \lambda_{\phi}}{G_{\phi 0}} \right]^{-2n_{\phi}}; \quad Q_{\text{п}} \varphi_{\text{п}i} = Q_{\text{п}} \varphi_{\text{п}0} \left[1 - \frac{(g_{\text{п}(i-1)} + \Delta g_{\text{п}i}) \lambda_{\text{п}}}{V_{\text{п}} \rho_{\text{п}}} \right]. \end{aligned} \right\} (13),$$

$$\left. \begin{aligned}
c_{xij} &= c_{xi(j-1)} \left(1 - \frac{Q_y \Delta \tau}{G_0} \right)^{\frac{(Q_{u\varphi_u})_{i(j-1)} + (Q_{\phi\varphi_\phi})_{i(j-1)} + K_y}{Q_y}} + \frac{a_x}{(Q_{u\varphi_u})_{i(j-1)} + (Q_{\phi\varphi_\phi})_{i(j-1)} + K_y Q_y} \times \\
&\quad \times \left[1 - \left(1 - \frac{Q_y \Delta \tau}{G_0} \right)^{\frac{(Q_{u\varphi_u})_{i(j-1)} + (Q_{\phi\varphi_\phi})_{i(j-1)} + K_y}{Q_y}} \right]; \\
c_{x(i+1)0} &= c_{xin_j} \left(1 - \frac{Q_y \tau_d}{G_0} \right); \\
(Q_{u\varphi_u})_{ij} &= Q_{u\varphi_{u0}} \left[1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n_i-1} \sum_{j=1}^{n_j} \Delta g_{uij} + \sum_{j=1}^{n_j} \Delta g_{u0j} \right) \lambda_u}{V_p \rho_u} \right]; \\
(Q_{\phi\varphi_\phi})_{ij} &= Q_{\phi\varphi_{\phi0}} \left[1 - A_g \frac{\left(\sum_{i=1}^{n_i-1} \sum_{j=1}^{n_j} \Delta g_{\phiij} + \sum_{j=1}^{n_j} \Delta g_{\phi0j} \right) \lambda_\phi}{G_{\phi0}} \right]^{-2n_\phi}; \\
\Delta g_{u0j} &= \frac{(Q_{u\varphi_u})_{i(j-1)}}{(Q_{u\varphi_u})_{i(j-1)} + (Q_{\phi\varphi_\phi})_{i(j-1)} + K_y Q_y} [a_x \Delta \tau - c_{xij} G_j + c_{xi(j-1)} G_{(j-1)}]; \\
\Delta g_{\phi0j} &= \frac{(Q_{\phi\varphi_\phi})_{i(j-1)}}{(Q_{u\varphi_u})_{i(j-1)} + (Q_{\phi\varphi_\phi})_{i(j-1)} + K_y Q_y} [a_x \Delta \tau - c_{xij} G_j + c_{xi(j-1)} G_{(j-1)}]
\end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где τ_d – продолжительность работы дизеля между доливами масла, ч;

$\Delta \tau$ – продолжительность цикла расчета работы МО при закрепленной интенсивности очистки, ч;

i – номер долива и этапа работы дизеля без долива масла;

j – номер цикла расчета старения масла.

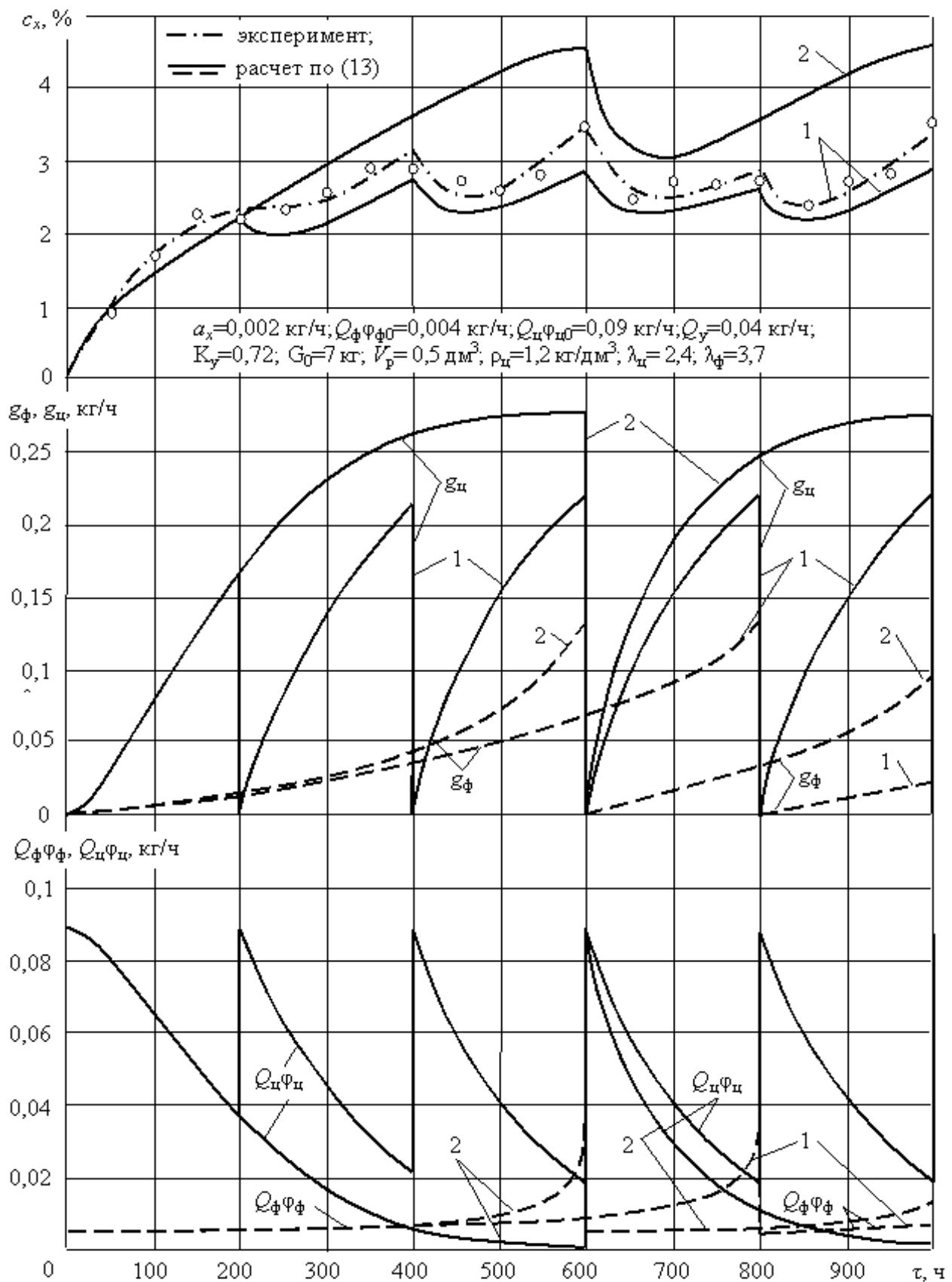
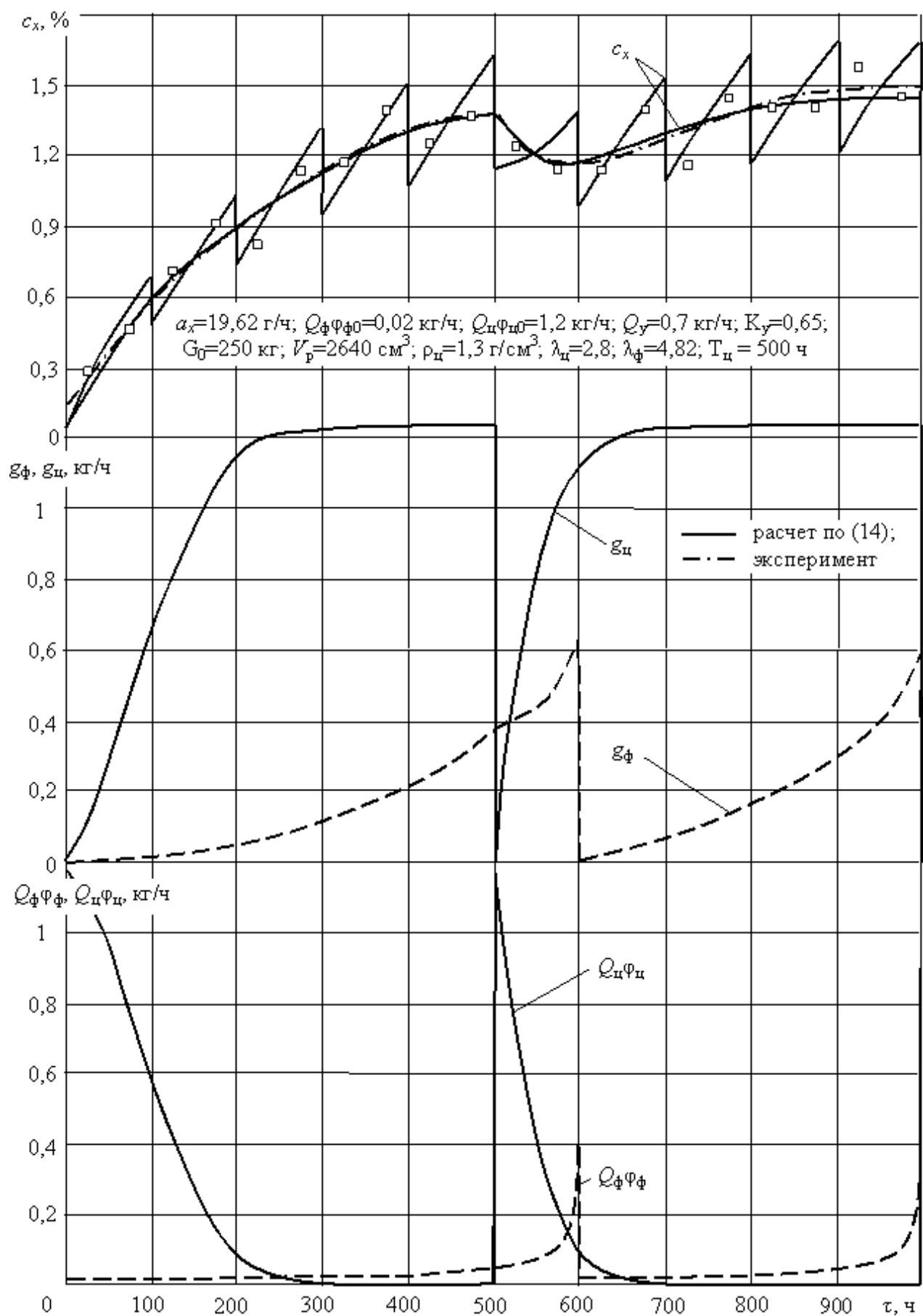


Рисунок 1 – Кинетика загрязнения и очистки моторного масла в дизеле 2ЧН 10,5/13;
чистка ротора центрифуги 200 (1) и и600 (2)



при периодическом доливе

Распределение загрязнений между центрифугой и фильтром, согласно разработанной методике, принято постоянной величиной только при работе в течении Δt . При этом распределение загрязнений между МО, как это видно из последних уравнений системы (13) и (14), пропорционально их интенсивностям очистки. Оно индивидуально для каждого цикла расчета.

Расчет накопления НРП по (13) в масле М-12Б дизеля 2Ч10,5/13 при условии интенсивного удаления НРП центрифугой МЦН-4НС (ГОСТ 10556-78) и фильтром с элементами «Реготмас-412» (ТУ 63.66.1-77) показаны на рис. 1.

При условии очистки ротора центрифуги через 100 ч совпадение расчетных и экспериментальных зависимостей полное.

Возможности разработанной упрощенной методики расчета (14) накопления нерастворимых примесей в масле М-10Д₂(цл20) (ГОСТ 12337-84) дизеля Vasa 20 изображены на рис. 2. Сходимость результатов расчета с данными натурных испытаний также очень хорошая. Все они находятся в доверительных пределах инструментального определения показателя c_x .

Анализ зависимостей $c_x(t)$ (рис.1, 2) показывает, что уменьшение концентрации c_x в значительной степени обусловлено чисткой ротора центрифуги [3,5]. В нижней части рис.1 и в средней рис.2 представлены зависимости для массы нерастворимых примесей, удаляемых ЦО и фильтром (при периодичности чистки ротора центрифуги через 200 – 500 ч). Иллюстрации подтверждают необходимость частой чистки ротора, что также сказывается на величине g_f и, следовательно, на сроке службы фильтрующих элементов.

Анализ зависимостей по g_f показывает значительное влияние режима обслуживания ЦО на уровень загрязнения масла [6,7,8]. Если ротор центрифуги не очищать от отложений в течение длительного периода, то концентрация нерастворимых примесей в масле повысится до значений, характерных для случая использования в СС только одного фильтра.

Выводы

Исследованы основные закономерности загрязнения масла НРП при переменной интенсивности его очистки разными по принципу действия очистителями и при непрерывном и периодическом режимах долива ММ в СС дизеля.

Реализован подход, позволяющий вести совместную оценку центрифуг и фильтров на накопление нерастворимых загрязнений в СС дизеля при противоположном действии на их эффективность накопления отложений в роторе и в ФЭ[9,10].

По результатам расчета на примере дизеля 2Ч10,5/13 и Vasa 20 сделано заключение о необходимости чистки ротора центрифуги от накопившихся отложений через 250 ч, что позволит снизить накопление НРП и продлить срок службы ФЭ[11,12].

Список литературы

1. Кича, Г.П. Кинетика загрязнения и комбинированной очистки моторного масла фильтрованием и центрифугированием в дизелях / Г.П. Кича, Л.А. Семенюк, П.П. Кича // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2018. – № 1. С. 87–94.
2. Кича, Г.П. Эксплуатационная эффективность полнопоточной тонкой очистки моторного масла в судовых вспомогательных дизелях / Г.П. Кича, Л.А. Семенюк, М.И. Тарасов, А.В. Надежкин // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2020. – № 58-59. – С. 71–80.
3. Кича, Г.П. Полнопоточная комбинированная фильтрованием и центрифугированием тонкая очистка моторного масла в судовых дизелях / Г.П. Кича, Л.А. Семенюк // Вестник Аст-

раханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. – № 2. – С. 62–69.

4. Надежкин, А. В. Имитационная модель трибодиагностики двигателей внутреннего сгорания / А. В. Надежкин, А. В. Безвербный, Г. П. Кича // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. – № 3. – С. 6–14.
5. Кича, Г. П. Решение проблемы высокоэффективной очистки моторного масла в судовых дизелях : автореф. дис. ... д-ра технических наук: 05.08.05 / Кича Геннадий Петрович. – Владивосток, 1992. – 46 с.
6. Кича, Г. П. Стохастическая ячеистая модель очистки моторного масла от механических примесей объемным фильтрованием / Г. П. Кича, Л. А. Семенюк, М. И. Тарасов // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 1(47). – Т. 2. – С. 105–112.
7. Кича, Г. П. Новые стахостические модели очистки топлив и масел судовыми центробежными аппаратами со сложной гидродинамической обстановкой / Г. П. Кича, А. В. Надежкин, Л. А. Семенюк // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 4(42). – Т. 5. – С. 77–89.
8. Семенюк, Л.А. Комбинированная тонкая очистка смазочных материалов – основа ресурсо-сберегающего маслоиспользования судовых тронковых дизелей, форсированных наддувом / Л.А. Семенюк, М.А. Серебряков, Г.П. Кича, А.В. Надёжкин // Транспортное дело России. – 2025. – № 5. – С. 114–117.
9. Воробьев, Б. Н. Стохастическое моделирование разделения сложных гетерогенных систем судовых устройств на основе представлений и аппарата случайных марковских процессов // Б. Н. Воробьев, А. В. Надежкин, Г. П. Кича // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. № 3(37). – Т. 2. – С. 112–120.
10. Кича, Г. П. Результаты эксплуатационных испытаний саморегенерирующегося фильтра в судовых дизелях в составе комбинированного маслоочистительного комплекса / Г. П. Кича, А. В. Надежкин, С. П. Бойко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11. – № 4. – С. 718–726.
11. Кича, Г. П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием: монография / Г. П. Кича, Н. Н. Таращен, А. В. Надежкин. – Владивосток: Из-во Мор. гос. ун-та, 2015. – 174 с.
12. Кича, Г. П. Имитационное моделирование смазки трибосопряжений и изнашивания основных деталей ДВС / Г. П. Кича, А. В. Надежкин, Б. Н. Перминов // Транспортное дело России. – 2004. – № 2. – С. 51–53.

Поступила в редакцию 8 декабря 2025 г.

The energy potential of wastewater from marine technology enterprises

Darmenko Alexander V.¹, Darmenko@msun.ru
Tarasov Maxim I.¹, TarasovMI@msun.ru

¹Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

The general justification of the possibility of repeated energy-technological use of domestic and industrial wastewater generated at marine technology facilities has been performed. An assessment of the optimization potential of water consumption and sanitation systems for both stationary and non-stationary facilities has been carried out. The requirements and conditions under which the discharge of treated wastewater into the marine environment is allowed are analyzed.

Ключевые слова: wastewater treatment and reuse, wastewater classification, water management conditions, water consumption, marine technology facilities.

Энергетический потенциал сточных вод предприятий морских технологий

Дарменко Александр Васильевич¹, Darmenko@msun.ru
Тарасов Максим Игоревич¹, TarasovMI@msun.ru

¹Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток

Выполнено общее обоснование возможности повторного энергетехнологического использования бытовых и производственных сточных вод, образующихся на объектах морских технологий. Проведена оценка потенциала оптимизации систем водопотребления и водоотведения как для стационарных, так и для нестационарных объектов. Проанализированы требования и условия, при соблюдении которых допускается сброс очищенных сточных вод в морскую среду.

Keywords: обработка и повторное использование сточных вод, классификация стоков, условия водоотведения, водопотребление, объекты морских технологий.

Marine Technology Facilities (MTFs) are production facilities located on the seashore or operating within the waters of the World Ocean, functionally and technologically linked to ocean resource extraction and processing, transportation of products and cargo, as well as repair, construction, and servicing of marine facilities.

MTFs can be classified into two main groups. The first group includes stationary facilities, which may be either shore-based (e.g., ship repair yards (SRYs), fish processing plants (FPPs), etc.) or marine-based (e.g., offshore platforms, floating docks, etc.). The second group comprises non-

stationary facilities that perform their functions while moving across ocean waters—these include transport and extraction vessels, ships, and floating fish-processing bases (FFPBs).

It should be noted that among the entire variety of MTFs, we have specifically identified only those characterized by high water consumption and, correspondingly, significant wastewater discharge. This is typically driven by two main factors: a large number of personnel working at the facility and/or intensive water use in the technological processes employed at the facility.

These facilities operate in a stationary mode either continuously or year-round. For the specified MTFs, significant steam consumption is characteristic—not only for technological and domestic purposes but also due to the need to generate electrical power and provide thermal energy.

Such facilities include shore-based fish processing plants and ship repair yards, as well as drilling platforms and floating fish-processing bases. All these stationary facilities face substantial wastewater management challenges, as the discharge of untreated domestic sewage and industrial wastewater is prohibited. Compliance with these regulations entails considerably higher treatment costs compared to non-stationary facilities, primarily for two reasons: first, the much larger volumes of both domestic and industrial wastewater generated; and second, the requirement for a higher degree of treatment, including additional processing steps such as disinfection, deodorization, etc., due to the stationary nature of the facility.

When examining MTF operating conditions from the perspective of freshwater consumption, it should be noted that non-stationary MTFs generally do not face significant challenges in obtaining freshwater. This is because they are equipped with onboard desalination units—typically evaporators—that utilize waste heat from the cooling water of their diesel power plants, and their freshwater demand is relatively low.

This same group of non-stationary facilities typically discharges three types of wastewater:

Blackwater (sanitary wastewater)

Greywater (domestic wastewater)

Oily wastewater

Due to their functional and technological focus, as well as their relatively small crew size, these vessels generate only modest wastewater volumes. Existing treatment systems for blackwater and oily wastewater generally perform satisfactorily and fulfill their intended functions.

In contrast, among stationary-type MTFs, floating bases (FBs) face the most challenging operating conditions. This stems from their unique operational profile: while on fishing grounds, FBs relocate between fishing zones but operate predominantly in a stationary ("moored") mode for periods ranging from one to four months, with only brief transits between areas. Overall voyage durations typically last from 270 to 500 days [1]. Consequently, during fishing seasons, FBs effectively transition from a non-stationary to a stationary marine operational mode, remaining in that state for months at a time.

Unlike shore-based facilities—such as ship repair yards or land-based fish processing plants—which benefit from access to inexpensive freshwater supplies and have ample space to install biochemical treatment plants for blackwater and domestic wastewater, as well as dedicated systems for treating process wastewater, floating bases face significant constraints. They can obtain freshwater only through costly tanker deliveries or by generating it on board using high-capacity evaporators—a necessity driven by fish-processing technologies (e.g., canning, glazing, etc.).

Furthermore, FBs accommodate large crews (typically 120–140 crew members) and employ an additional 300–400 personnel engaged in fish and seafood processing. This necessitates substantial freshwater quantities for galleys, laundries, and shower facilities to meet stringent sanitation and hygiene standards, as most fish-processing outputs are food-grade products.

Additionally, the boiler system on board must supply steam not only for technological equipment and space heating but also to power the evaporators and support other essential operations.

Beyond these operational demands, floating bases are subject to the strictest regulations regarding marine pollution prevention. Discharge limits for treated wastewater are tightly controlled, particularly concerning pollutant concentrations. These restrictions apply equally to vessels—even when engine oil consumption is optimized [2] and re-refined lubricants are used [3] in the power plant—since oily contaminants related to diesel engine operation may still enter the wastewater streams. Consequently, rigorous monitoring of such contaminants and thorough treatment of wastewater to remove these impurities are mandatory.

Conditions for Discharging Treated Wastewater from Vessels into the Sea

Discharge of treated wastewater is prohibited when a vessel is located:

- In port;
- In a "Special Area" (e.g., the Baltic Sea, Black Sea, Red Sea, and other designated zones [4]);
- Within territorial waters (in some cases);
- Within the Exclusive Economic Zone of certain countries.

To comply with these restrictions, vessels typically collect treated greywater and disinfected blackwater in dedicated holding tanks and discharge them overboard only when outside restricted zones and in compliance with applicable regulations.

However, for stationary MTFs such as floating bases operating in a moored mode for extended periods, this approach is not feasible. Due to their continuous operations and high wastewater generation rates, they cannot practically store wastewater for later discharge.

For example, a floating base with a total crew and processing staff of 440 persons generates approximately: 22 m³/day of blackwater, 97 m³/day of greywater.

Consequently, FBs must implement advanced wastewater treatment to remove organic matter, surfactants, pathogens, and odorous compounds—requiring processes such as deep biological treatment, disinfection, and deodorization.

Oily wastewater is treated in certified oil-water separation systems. While standard bilge water treatment systems on ships can achieve residual oil concentrations of up to 15 mg/L, stationary facilities—including shore-based and marine-based FBs—are subject to stricter limits. Specifically, for water bodies designated for fisheries, the maximum permissible concentration of petroleum hydrocarbons is 0.05 mg/L. Therefore, significantly deeper purification is required before discharge. Moreover, disinfection and deodorization of all discharged effluent are mandatory.

Thus, the water management strategy on floating bases must address two interrelated objectives:

Reduce freshwater consumption, thereby lowering the high costs associated with onboard desalination (typically via high-capacity evaporators);

Enhance the quality of treated wastewater to permit legal discharge into the ocean.

However, this raises a critical question: Why discharge treated water at all if it can be reused?

Indeed, reusing reclaimed wastewater—particularly for low-pressure technological steam generation—offers a compelling alternative. Achieving the required water quality for such reuse is feasible using liquid-phase oxidation technology [5]. This method was previously tested in relevant applications and yielded satisfactory results, demonstrating its potential for closed-loop water recycling on floating bases.

Implementing such advanced treatment and reuse systems would not only ensure regulatory compliance but also significantly improve the sustainability and operational efficiency of floating processing facilities.

References

1. Lukinykh, N. L. Assessment of Potential Pollution from Domestic Wastewater Discharges in Areas of Group Operations of Fishing Vessels. In: Problems of Environmental Protection and Secondary Resource Recovery at Industrial Enterprises and During Vessel Operation. All-Union Scientific and Technical Conference. Leningrad: Sudostroenie, 1982, pp. 143–144. (In Russian)
2. Tarasov, M. I., Semenyuk, L. A., Gauk, G. A. Optimization of Engine Oil Consumption in Highly Turbocharged Marine Diesel Engines Based on Wear Criteria. Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology, 2018, no. 3, pp. 78–86. (In Russian)
3. Tarasov, V. V., Sobolenko, A. N., Tarasov, M. I. Efficiency of Using Additive-Enhanced Regenerated Engine Oil in Marine Diesel Engines with Different Levels of Turbocharging. Marine Intelligent Technologies, 2020, vol. 2, no. 1(47), pp. 116–122. (In Russian)
4. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 (MARPOL 73/78).
5. Darmenko, A. V., Tarasov, M. I., Grushetsky, M. B. Selection of an Optimal Technology for Advanced Treatment of Certain Types of Oily Wastewater from Ship Power Plants. Bulletin of the Maritime State University, 2023, no. 91, pp. 35–37. (In Russian)

Поступила в редакцию 29 декабря 2025 г.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

УДК 656.618:347.799.2

Развитие концепции системы аварийной буксировки

Мотрич Владимир Николаевич, доцент, MotrichVN@msun.ru

МГУ им. адм. Г. И. Невельского, Владивосток

Обзор литературы по управлению судна и морской практике показывает, что подавляющее большинство учебных пособий и монографий содержат описание технологии заранее запланированной буксировки, разработанной в 60-70-е годы XX века, которая предусматривает заведение буксирной линии в закрытой акватории с громоздкими расчетами, которыми капитан и его помощники не смогут воспользоваться в аварийной ситуации. Инциденты с крупнотоннажными танкерами с катастрофическими последствиями для окружающей среды со всей очевидностью выявили необходимость создания простых и надежных систем аварийной буксировки, пригодных для использования на оставленных экипажами судах в экстремальных условиях погоды. В статье рассмотрены исследования последних лет по данному вопросу. Приведены практические рекомендации для капитанов по принятию решения относительно аварийной буксировки.

Ключевые слова: Аварии, спасательные операции, аварийная буксировка, буксирное оборудование.

Development of concept of emergency towing system

Motrich Vladimir N., MotrichVN@msun.ru

Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

A review of the literature on ship handling and practice of seamanship shows that the vast majority of textbooks and monographs contain a description of technology of pre-planned towing, developed in the 60-70s of the twentieth century, which provides for the rigging of a towline in a protected water area with cumbersome calculations, which the Shipmaster and his mates will never be able to use in an emergency situation. Incidents involving great-tonnage tankers with catastrophic consequences for the environment have clearly highlighted the need to create simple and reliable emergency towing systems suitable for use on ships abandoned by their crew in extreme weather conditions. The article reviews recent research on this issue. Practical recommendations for captains on emergency towing decision-making are given.

Keywords: Accidents, rescue operations, emergency towing, towing equipment.

Самое известное и стойкое поверье у моряков – легенда о Летучем голландце, корабле-призраке, экипаж которого за грехи, богохульство или преступления был осуждён на вечное скитание.

Но даже в самых невероятных вымыслах всегда есть доля истины. Морякам часто встречались по курсу дрейфующие в море полузатопленные корабли без огней и знаков, столкновение с которыми представляло серьезную опасность. Вопрос удаления опасных обломков кораблекрушения даже обсуждался на Международной конференции по безопасности мореплавания, которая проходила в Вашингтоне в 1889 году.

Несмотря на суеверные страхи, некоторые «летучие голландцы» удавалось спасти. Наиболее известное из них – бригантина «Mary Celeste», которая дрейфовала в океане, оставленная экипажем по неизвестной причине без признаков каких-либо повреждений, причем на его борту находился груз спирта в бочках в полной сохранности. Капитану парусного брига «Dei Gratia» удалось привести это судно на буксире в Гибралтар и добиться в адмиралтейском суде выплаты спасательного вознаграждения. Правда, пришлось еще доказывать, что трофей достался не в результате пиратских действий [1].

Парусный корабль мог буксировать судно размером поменьше. О случаях буксировки кораблей, получивших боевые повреждения, повествуют хроники Трафальгарского сражения.

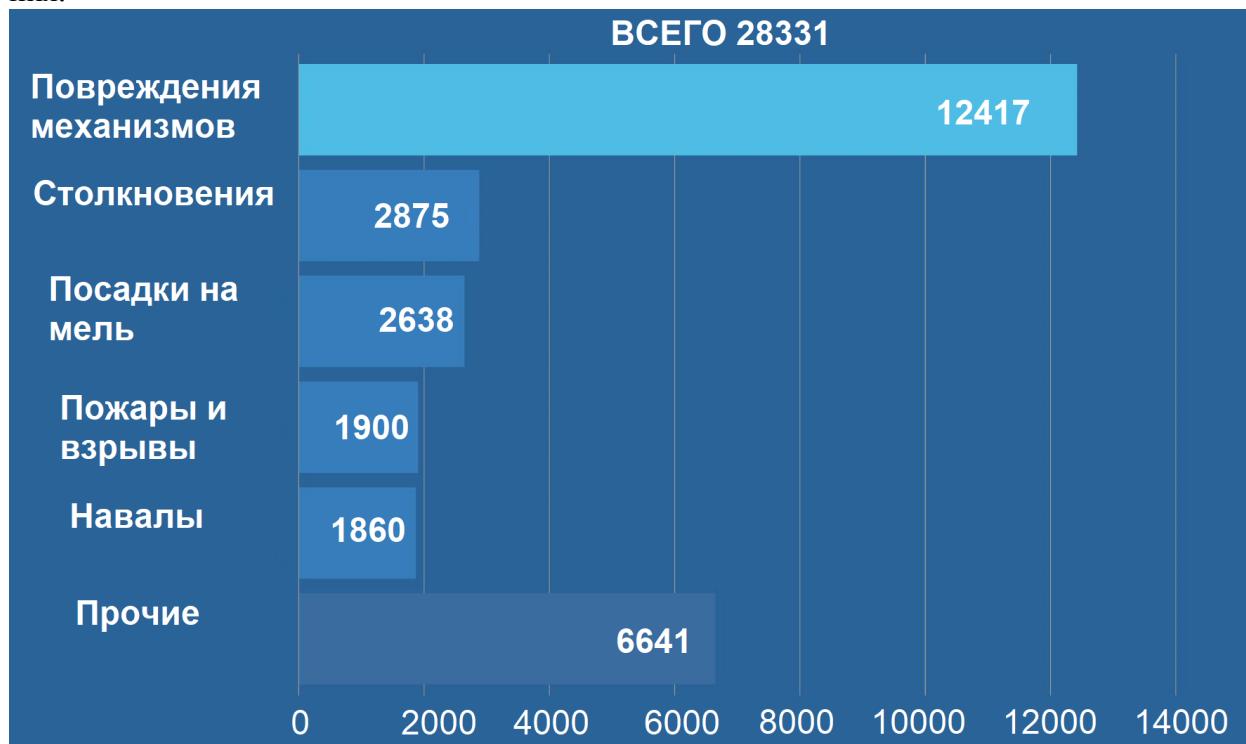


Рисунок 1. Причины аварийных случаев за период 2015 – 2024 гг.[2]

К началу XX века структура мирового флота кардинально изменилась. В морских перевозках стали преобладать суда с механическим двигателем, но проблема надежности технических средств окончательно не решена и в наши дни. Так, согласно статистике Регистра морского судоходства Ллойда, более половины всех аварийных случаев на судах мирового флота происходит вследствие отказа механизмов и потери управления (рис.1) [2]. Поэтому традиционно суда оснащались бухтой стального буксирного троса, использование которого при аварии с ростом размеров судов, а, следовательно, с увеличением диаметра и массы буксира вместе с сокращением численности экипажа превратилось в трудновыполнимую задачу,

особенно в экстремальных погодных условиях и при отсутствии энергоснабжения. Но даже с наступлением XXI века оснащение буксирным тросом не стало обязательным требованием Международной Конвенции СОЛАС-74, и их имели лишь немногие суда.

Со временем окончания второй мировой войны наиболее тяжелыми по своим последствиям стали аварии нефтеналивных судов нового поколения – супертанкеров. Часто к катастрофам приводили неудачное проведение спасательной операции.

Так, утром 16 марта 1978 года супертанкер «Amoco Cadiz», следуя с грузом нефти из Персидского залива в Роттердам, в 10-балльный шторм потерял управление у входа в пролив Ла-Манш из-за выхода из строя рулевой машины, Дублирующим рулевым устройством судно оборудовано не было. Был извещен старший механик, который пообещал справиться с проблемой быстро. Однако в помещении рулевой машины все оказалось гораздо серьезней. Били фонтаном струи масла, рвались трубы, лопались фланцы, разлетались болты. По приказу старшего механика людей, прибывших для ремонта рулевой машины, эвакуировали. Капитан танкера, узнав, что рулевое управление не восстановить, вызвал на помощь буксир.

К полудню того же дня на вызов прибыл немецкий буксир-спасатель «Pacific» мощностью 8250 л.с. и около трех часов ушло на согласование спасательного контракта.



Рисунок 2. Попытка спасения «Amoco Cadiz»

Однако буксировка груженого супертанкера в шторм оказалась трудной задачей. Дважды рвался буксир. Мощности единственного спасателя было недостаточно. Вызванный на помощь буксир-спасатель «Samson» был еще далеко, а до скал – близко. К ночи еще больше усилился ветер. Отданные якоря не держали. В 21.04 танкер оказался на скалах и разломился. Экипаж был снят вертолетом.

Из разломившегося на три части корпуса вытекло более 220 тыс. т нефти, покрыв площадь 3,5 тыс. кв. км. Нанесен огромный ущерб рыболовству, рыбоводству, устричным плантациям, всему живому морскому миру этого района. Подсчитано, что погибли более 20 тыс. птиц. В течение двух недель море выбрасывало на берег миллионы моллюсков, морских ежей и креветок. Спасательные работы обошлись в 460 миллионов франков [1].

К сожалению, на этом бедствия «мамонтов морей» не прекратились, и конец 1970-х годов ознаменовался новыми катастрофами: в тот период потерпели аварии супертанкеры «Argo Merchant», «Sansiena», «Oswego Peace», «Olympic Games», «Daphne» и др.

С целью облегчения спасательных операций и аварийной буксировки, а также для снижения риска загрязнения 13-я Ассамблея ИМО Резолюцией A.535(13) от 17 ноября 1983 г. приняла Рекомендации относительно требований к аварийной буксировке для танкеров. Такие устройства были разработаны в середине 1980-х годов для челночных танкеров на межсторождении Статфьорд в Северном море. Основными компонентами системы были: буксир или буксирующее судно; буксирная линия; буксирный шкентель; цепная вставка в буксирном тросе в районе клюза для предупреждения от перетирания; клюз и соединительное устройство или устройство крепления на буксируемом судне. Система должна облегчать легкость соединения и предоставлять возможность соединения и отдачи на борту буксируемого судна при отсутствии главного источника энергии. Прочность буксирной системы должна быть достаточной для всех углов буксировки.

Все танкеры дедвейтом более 50000 т, построенные после принятия этой резолюции, должны быть оборудованы аварийным буксирным устройством в носу и корме. Все танкеры дедвейтом более 100000 т, построенные до принятия резолюции, должны быть оборудованы аварийным буксирным устройством, размещенным в носу и корме, при первом плановом доковании после принятия, но не позднее пяти лет после принятия.

При этом признавалось, что некоторые существующие танкеры оборудованы устройством для точечной швартовки, которое может быть пригодно для аварийной буксировки. Всем правительствам рекомендовано как можно скорее применять эти рекомендации, а Комитету по безопасности на море пересматривать их по мере появления новых концепций. Но, как показали уроки танкера «Браер», этих мер оказалось недостаточно.



Рисунок 3 Танкер «Браер» на камнях 5 января 1993, Шетландские острова

2 января 1993 года в 13.00 местного времени однокорпусный танкер «Браер» под флагом Либерии, приняв 84700 тонн сырой нефти, вышел из порта Монгстад (Норвегия) назначением в Квебек (Канада), несмотря на принятое предупреждение о шторме 10 баллов. К полуночи началась сильная качка и заливание палубы. Плохо закрепленная на палубе связка

труб, предназначавшихся для ремонта в рейсе, смешилась, сорвав головки вентиляции расходных и отстойных танков топлива, в которые стала поступать вода. В результате обводнения топлива остановился главный двигатель, а затем и дизель-генераторы. Судно лишилось хода в 10 милях от южной оконечности Шетландских островов. Использовать якоря для остановки опасного дрейфа не позволили большие глубины и постоянное заливание бака. В сложившейся ситуации капитан послал в эфир сигнал бедствия, и экипаж был эвакуирован вертолетом.

На следующее утро к аварийному танкеру подошел буксир «Star Sirius», обслуживающий плавучие буровые установки на шельфе. Однако операция подачи буксира под ударами волн при ураганном ветре не увенчалась успехом. В 11.19 танкер «Браер» был выброшен на камни, разломился на три части, и нефть вылилась в море (рис.3).

Пострадала не только дикая природа Шетландских островов, но и общественное здравоохранение, сельское хозяйство, рыболовство и рыбоводческая промышленность. Эффективная аварийная буксировка могла бы легко предотвратить эту катастрофу, но рекомендации Резолюции A.535(13) к танкеру «Браер» не применялись, так как он был построен до ее принятия в 1975 году и имел дедвейт 89730 тонн [3].

По урокам этой катастрофы Комитет по безопасности на море ИМО Резолюцией MSC.57(67) от 5 декабря 1996 г. в Главу II-1 Международной конвенции СОЛАС-74 принял новое Правило 3-3 «Безопасный доступ в носовую часть танкеров», а за ним заняло свое логичное место Правило 3-4 «Устройство аварийной буксировки на танкерах». В соответствии с этим правилом устройство аварийной буксировки должно быть оборудовано в обеих оконечностях на борту всех танкеров дедвейтом не менее 20000 т, построенных 1 января 1996 года или после этой даты. На танкерах, построенных до 1 января 1996 года, такое устройство должно быть оборудовано при первом плановом доковании после 1 января 1996 года, но не позднее 1 января 1999 года.

Устройства для аварийной буксировки на обеих оконечностях должны иметь достаточную прочность с учетом размера и дедвейта судна и предполагаемых усилий при неблагоприятных погодных условиях. Проект и конструкция устройства буксировки должны соответствовать Руководству по устройствам аварийной буксировки танкеров, принятому Комитетом по безопасности на море Резолюцией MSC.35(63) вместо Резолюции A.535(13). Устройство должно быстро развертываться в условиях выхода из строя основного источника энергии на буксируемом судне и легко крепиться к буксировщику. Все элементы устройства аварийной буксировки должны проверяться членами экипажа судна через регулярные интервалы времени и содержаться в хорошем рабочем состоянии.

По предложению делегации Норвегии Резолюцией MSC.132(75) от 22 мая 2002 года в это Руководство было включено требование о том, чтобы имелось, по крайней мере, одно собранное устройство аварийной буксировки с тем, чтобы танкеру могло оказать помощь не только спасательное буксирное, но и любое другое судно.

Комитет по безопасности на море утвердил циркуляр MSC/Circ.966 об унифицированном толковании МАКО «Испытания прототипа».

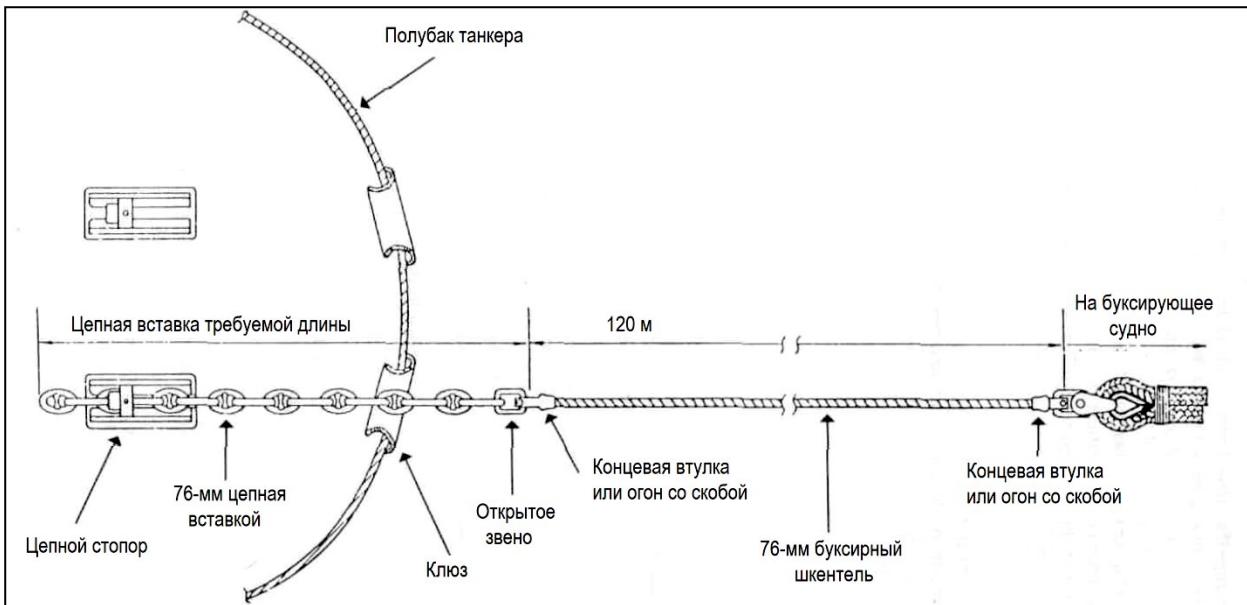


Рисунок 4. Буксирная система со шкентелем и цепной вставкой (вид сверху)

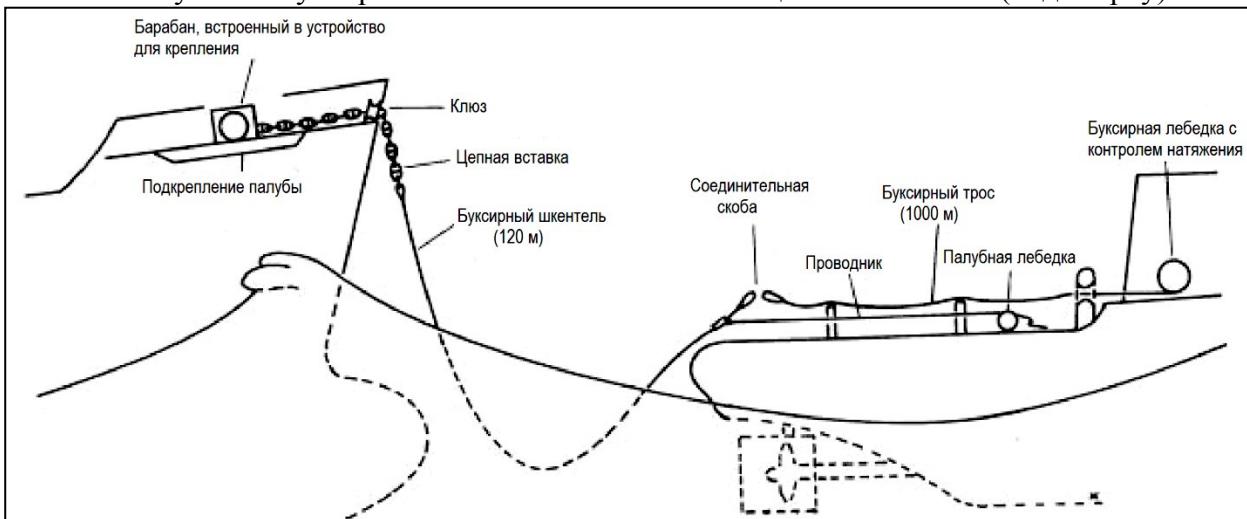


Рисунок 5. Буксирная система со шкентелем и цепной вставкой (вид сбоку)

Типы аварийных буксирных устройств, которые соответствуют требованиям ИМО, описаны в публикации [4]. Первое издание этого руководства вышло в свет в 1979 году после аварии «Амоко Кадис» и с тех пор переиздавалось шесть раз.

В общем случае соединение осуществляется посредством подачи легкого каната, таким как линь, бросательный конец, к которому подсоединяется проводник для основания буксирной линии между судами.

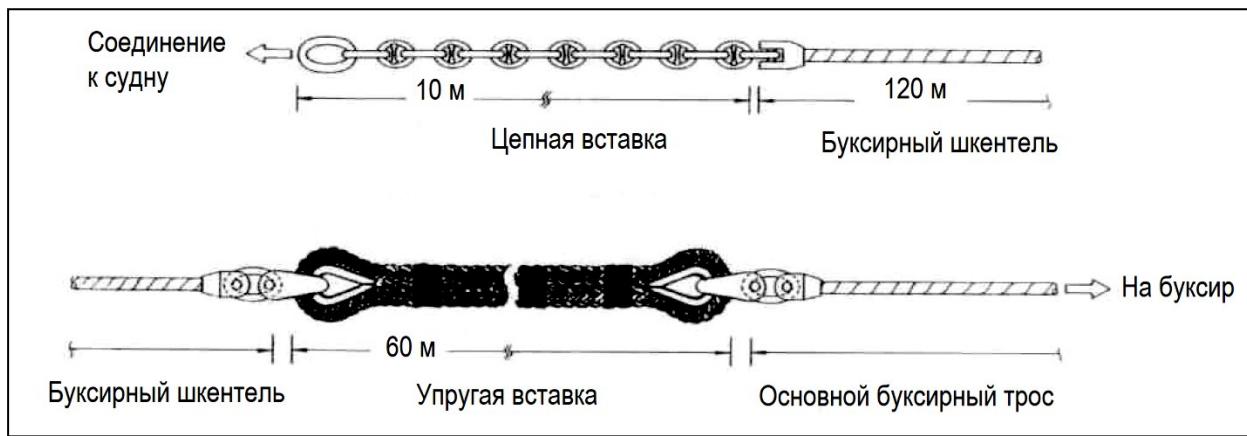


Рисунок 6. Пример соединения элементов буксирной линии

Комбинация буя с проводником используется для извлечения буксирного шкентеля достаточной длины из места хранения на аварийном судне. Огонь с коушем на конце этого шкентеля соединен с длинным буксирным тросом на палубе аварийного судна. Другой конец шкентеля уже закреплен к прочной конструкции (рис.4, 5, 6).

Таким образом, самое необходимое – это буксирный шкентель достаточной длины и прочности с подходящим коушем на внешнем конце и внутренним концом, закрепленным в специально отведенном месте для крепления. Длина буксирного шкентеля может стать критической при соединении буксирного троса в условиях сильного волнения.

Многие капитаны спасательных судов считают, что требуемая Резолюцией MSC.35(63) длина, по крайней мере, в два раза превышающая надводный борт в балласте в районе клюза, плюс 50 метров, должна рассматриваться как абсолютный минимум. Более длинный буксирный шкентель будет полезен для подсоединения буксирного троса в неблагоприятных погодных условиях.

В упрощенном варианте аварийное буксирное устройство состоит только из цепной вставки, прочно закрепленной на аварийном судне, и буксирного шкентеля.

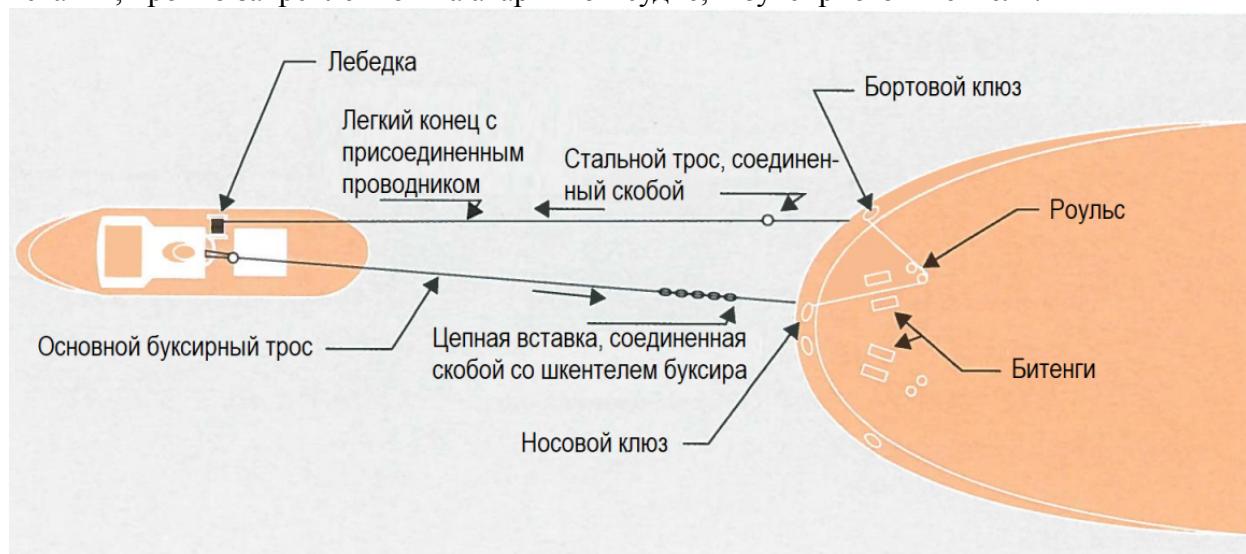


Рисунок 7. Использование лебедки буксирного судна для выбирания буксирной линии

Если на борту терпящего бедствие судна нет электропитания, используют способ «кругового выбиивания» (рис.7), при котором легкий линь, к которому присоединен более тяжелый проводник проводится обратно на буксир, после чего цепная вставка и буксирная линия выбирается к устройству для крепления на аварийном судне с использованием механизмов буксира.

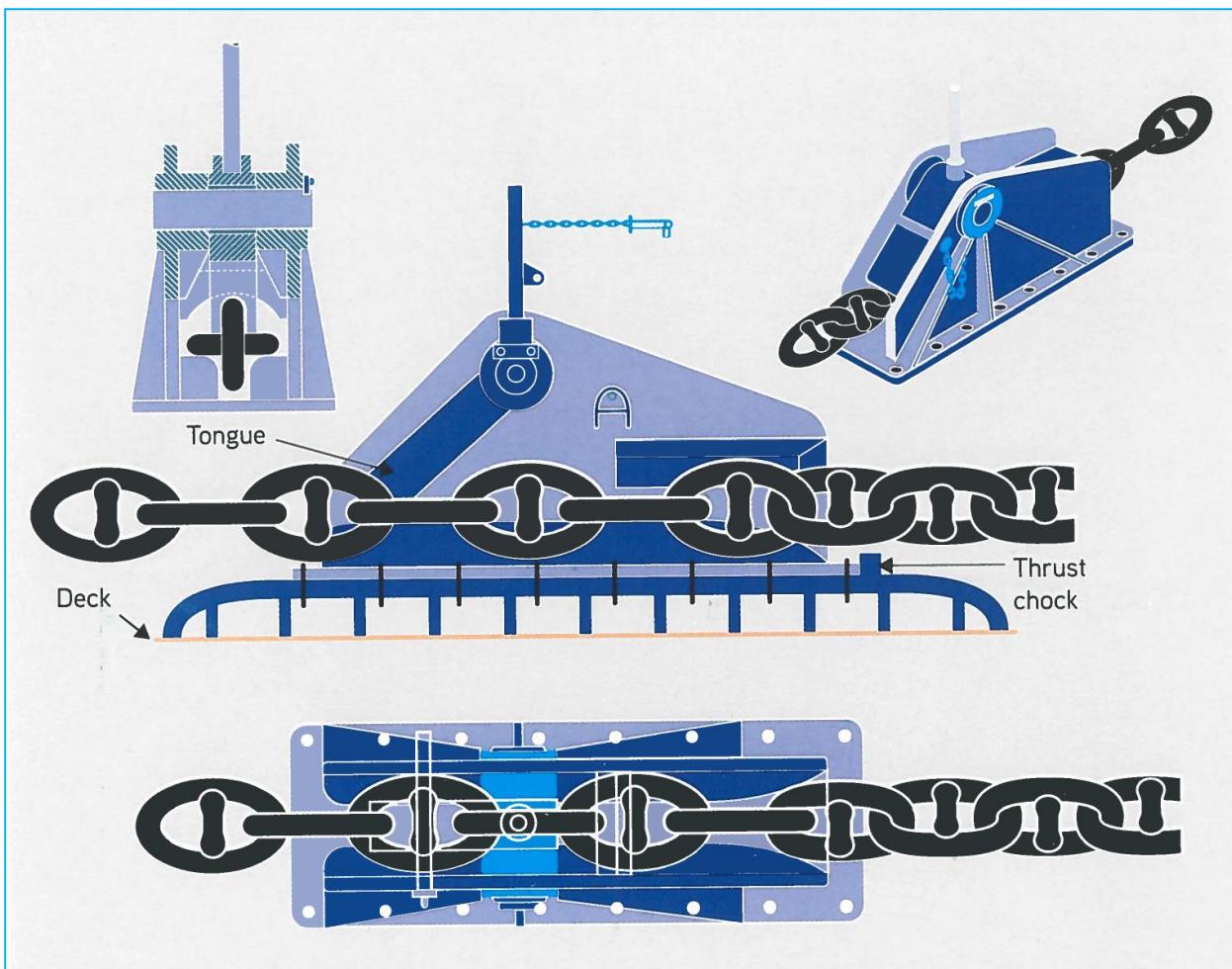


Рисунок 8. Оборудование для постановки к одноточечным причалам

Опорная точка должна быть достаточно прочно встроена в конструкцию подпалубного набора. Обычные кнхеты, как правило, недостаточно прочны. Это же относится и к клюзу. Существующие панамские клюзы, расположенные в диаметрали, часто не имеют достаточного усиления и их радиус слишком мал для буксировки.

Танкеры, оборудованные для постановки к одноточечным причалам (Single Point Moorings), оснащены одним или двумя (в зависимости от водоизмещения судна) стопорами, рассчитанными на 76-миллиметровую цепь (рис.8). Как правило, безопасная рабочая нагрузка этих цепных стопоров составляет от 200 до 250 тонн. Такая прочность в сочетании с расположением на одной линии с носовым клюзом и лебедкой делает цепной стопор SPM идеальным и для использования в качестве буксирного соединения. Если цепь для предохранения от перетирания невозможно закрепить на подходящих кнхетах и нет стопора SPM, капитану судна и капитану буксира следует рассмотреть возможность использования одного из судовых якорных канатов для подсоединения буксирного троса.

Со времени принятия Резолюции MSC.35(63) стал очевиден ряд изменений в судоходстве, которые могут сделать целесообразным пересмотр готовности к чрезвычайным ситуациям и для других судов, не являющихся крупными танкерами, в ситуациях потери управления. Среди этих изменений следует отметить:

1. Большое количество современных типов судов, которые можно рассматривать как «быстроходные дрейфующие объекты» с большой парусностью, что оставляет меньше времени для взятия под контроль отказ двигателя в прибрежных водах и затрудняет аварийную

постановку на якорь. Это контейнеровозы, паромы, пассажирские суда, автомобилевозы и другие.

2. Сокращение численности экипажа на судах чрезвычайно затрудняет разворачивание аварийного буксирного устройства, особенно если на судне, терпящем бедствие, отсутствует электроэнергия. Вместо этого часто экипаж спасается на ранней стадии чрезвычайной ситуации, что затрудняет любую попытку экстренной буксировки.

3. Размеры судов в среднем увеличились вместе с количеством топлива на борту. Используемый в качестве топлива мазут в основном состоит из тяжелых фракций углеводородов, которые могут нанести значительный ущерб окружающей среде. Кроме того, количество опасных грузов, перевозимых сухогрузными судами, с годами увеличилось и продолжает увеличиваться.

4. Большие пассажирские паромы и круизные лайнеры перевозят сотни пассажиров. Посадка на мель такого судна потребует высадки пассажиров. Однако обязательные системы морской эвакуации не подходят на мелководье, если неблагоприятные погодные условия создают крутые волны и буруны.

5. Наряду с возросшей доступностью потенциальной помощи со стороны спасательных буксиров, судов экстренного реагирования, а также мощных и хорошо оснащенных морских судов снабжения, аварийная буксировка важный элемент защиты прибрежных районов и окружающей среды. Однако существует слабое звено в установлении физического контакта с судном, терпящим бедствие, и управлении им из-за отсутствия одобренных систем аварийной буксировки на судах, отличных от танкеров дедвейтом более 20000тонн.

Несколько примеров подтверждают вывод о необходимости принятия обязательных требований по оснащению таких судов системами аварийной буксировки.



Рисунок 9. Теплоход «Pallas» после пожара

25 октября 1998 года теплоход «Pallas» валовой вместимостью 7997, груженый лесом, загорелся в Северном море во время следования из Швеции в Африку примерно в 60 милях от Эсбьерга. Экипажу не удалось справиться с огнем. Из-за горящего груза на палубе экипаж не смог добраться до полубака, чтобы отдать якорь. В конечном итоге их пришлось спасать вертолетом с горящего судна. При этом один член экипажа погиб, еще один был тяжело ранен. Все попытки буксировки горящего судна не увенчались успехом. теплоход «Pallas» сел

на мель у острова Амрум и вскоре разломался (рис.9), что нанесло серьезный ущерб окружающей среде в результате разливов мазута. Погибло около 15 тыс. морских птиц [5].



Рисунок 10. Авария контейнеровоза «Vikartindur»

5 марта 1997 года контейнеровоз “Vikartindur” с 700 контейнерами на борту, следовал из Торсхавна (Фарерские острова) в Рейкьявик (Исландия) у южного побережья Исландии в суворых погодных условиях (ветер SW 10 баллов, волнение моря до 10 баллов). Около 07.30 двигатель пришлось остановить из-за неисправности системы охлаждения. Капитан принял решение отдать оба якоря примерно в 1,5 милях от берега, но якорные цепи не выдержали, и судно оказалось на мели у южного побережья Исландии, получив серьезные повреждения подводной части корпуса, где находилось 345 тонн тяжелого топлива. В ходе инцидента несколько человек получили тяжелые ранения. Контейнеры с токсичными химикатами попали за борт, и их вынесло на берег (рис.10).

После посадки на мель теплохода «Pallas» в Бундестаге была создана независимая комиссия экспертов по расследованию аварии, получившая название «комиссия Гробекера». В феврале 2000 года был опубликован ее доклад, в котором содержалось 30 рекомендаций, в одной из которых заявлялось, что разработка на международном уровне обязательных требований по оснащению судов, отличных от танкеров, системами аварийной буксировки, является важнейшей задачей в рамках спасательных операций, особенно если терпящее бедствие судно не имеет собственных основных и вспомогательных сил и покинуто экипажем.

Федеральное министерство транспорта, инфраструктуры и строительства Германии провело исследование с использованием формализованной оценки безопасности (ФОБ), методе, основанном на принципах выявления опасностей, оценки рисков, возможного ущерба и требуемых затрат.

Риск определяется как численное произведение вероятности аварийного случая и его последствий. Вероятность может быть выражена количеством аварий в год, что дает общую вероятность, если умножить ее на ожидаемый срок службы объекта. Последствия могут быть выражены либо в денежной оценке ущерба, включая стоимость восстановительных работ, либо в количестве погибших. Обычно невозможно перевести человеческие потери в денежный эквивалент. Другая трудность возникает, когда необходимо оценить ущерб окружающей среде, который не подлежит возмещению.

Дирекцией водных путей Германии подсчитано, что из 62791 судов, совершивших плавания в различных направлениях по Немецкой бухте, в которой наблюдается высокая плотность движения, сложные навигационные и гидрометеорологические условия, в период 1985-2000 гг. было зарегистрировано 74 аварийных случая, т.е. статистически это составило 4,93 случаев в год. В числе этих аварий были столкновения, пожары, посадка на мель, а также такие инциденты, как отказы рулевого механизма или главного двигателя. При средней про-

длительности одного рейса 6 часов вероятность аварийного случая оценивается величиной 0,115 на одно судно в год [5].

Доля прибрежных перевозок в значительной степени зависит от типа и размера судов. По оценкам экспертов максимальная доля прибрежной торговли составляет 75 % для пассажирских паромов типа ро-ро и минимальная – 30 % для крупных балкеров [5].

Вероятность аварийной ситуации возрастает с ухудшением погодных условий и состояния моря из-за увеличения вероятности технических отказов. По мнению экспертов, средняя доля таких ситуаций составляет 5 %. Эта цифра может варьироваться в зависимости от типа и размера судна. В частности, быстроходные суда, такие как автомобилевозы и пассажирские суда, более чувствительны в этом отношении.

В 80 % всех критических ситуаций в районе доступно оказание помощи в море, хотя необязательно профессиональным спасательным судном. Отсутствие аварийного буксирного устройства в большинстве случаев – серьезное препятствие для успеха спасательной операции. Кроме того, во время буксировки в море буксирное устройство может выйти из строя из-за трения или недостаточной прочности компонентов. Таким образом, доля успешных аварийных буксировок снижается в среднем до 70 % [5].

Риск посадки на мель в ситуации потери управления увеличивается для судов с большой парусностью. Груженые танкеры дрейфуют медленно, танкеры в балласте – умеренно, в то время как полностью загруженные контейнеровозы – быстро, а паромы и пассажирские суда – очень быстро. Ожидаемая скорость дрейфа вышеуказанных судов варьируется, например, при штормовом ветре в 10 баллов для танкера в полном грузу она составляет примерно 1,5 узла, а для круизного пассажирского судна – в среднем 3,5 узла [5].

Расчет вероятности возникновения чрезвычайной ситуации в течение года, умноженный на вероятность нахождения вблизи побережья, неблагоприятных погодных условий и наличия помощи, дает среднее значение 0,02, что означает одну такую ситуацию в течение 50 лет. У быстро дрейфующих судов, совершающих рейсы в прибрежных водах, она достигает значения 0,03, указывающего на одну такую ситуацию в течение 33 лет, в то время как судов с большой осадкой и малой площадью парусности эта вероятность составляет 0,015, или на одну такую ситуацию с местоположением в течение 67 лет [5].

Суда, перевозящие несколько сотен или даже тысяч человек на борту, такие как пассажирские паромы или круизные лайнеры, представляют повышенный риск, если эти суда оказываются на мели в результате потери управления. Севший на мель пассажирский паром или круизный лайнер создает серьезные проблемы, если эвакуацию пассажиров приходится проводить в неблагоприятных погодных условиях. Ситуация может вообще не позволить спустить спасательные шлюпки или плоты с судна, а эвакуация людей с помощью вертолета требует много времени и усилий, даже при умеренных погодных условиях. Системы аварийной буксировки могут снизить риск посадки на мель и, следовательно, риск получения травм и гибели людей.

Последствия выброса вредных веществ в случае посадки на мель представляют серьезную угрозу для людей на борту и на берегу, а также для окружающей среды. К таким веществам относятся мазут, который используется в качестве топлива практически на любом торговом судне, и различные вещества, перевозимые в качестве грузов, такие как сырая нефть и нефтепродукты, жидкие химические вещества, некоторые навалочные грузы и опасные грузы в упаковке, в частности токсичные вещества и ядерные материалы.

Тяжелое топливо оказывает наиболее неблагоприятное воздействие на окружающую среду из-за его низкой летучести и содержащихся в нем соединений асфальта и серы. Вместимость танков для мазута крупных контейнеровозов составляет около 8000 тонн. Посколь-

ку топливные танки большинства судов по-прежнему не защищены двойным корпусом, опасность для окружающей среды в случае посадки на мель очевидна.

Ущерб, наносимый окружающей среде сырой нефтью и ее производными, зависит главным образом от масштабов разлива, географического района, времени года, летучести нефти, а также от флоры и фауны в данном месте. Нефть и ее производные могут нанести вред живым организмам на поверхности моря, на морском дне и на берегу в приливно-отливных зонах. Они также могут серьезно ухудшить рекреационные качества пляжей и устьев рек. Естественное выветривание нефти может занять годы. Тяжелые компоненты нефти, которые накапливаются в так называемых низкоэнергетических зонах, где мало солнечного света, ветра или волн, могут сохраняться в течение многих десятилетий, прежде чем естественные процессы полностью разрушат их. В полярных регионах этот процесс может длиться столетиями. Помимо экологических рисков, неконтролируемый выброс паров углеводородов также несет в себе угрозу пожара и взрыва.

Загрязнение морской среды представляет собой угрозу, которую нелегко оценить в де-нежном выражении. Расходы на ликвидацию последствий аварии, безусловно, усугубляют их, но не покрывают ущерб в полной мере. В докладе Германии средняя стоимость ликвидации аварийного разлива нефти в результате посадки на мель танкера дедвейтом менее 20000 т принята 2 млн. евро [5].

Стоимость спасательных работ и последующего ремонта усугубляет последствия аварии [5].

Стоимость установки аварийного буксирного устройства варьирует от 29400 до 36900 евро в зависимости от дедвейта судна. Все производители утверждают, что их системы практически не требуют технического обслуживания [5].

Было предпринято краткое, но безрезультатное рассмотрение альтернативных вариантов, таких как аварийная буксировка с помощью судовой якорной цепи, доставка буксирных устройств вертолетом и расширенное резервирование судового оборудования. В результате было сочтено целесообразным распространить требование по оснащению системами аварийной буксировки всех судов валовой вместимостью 300 и более, за исключением некоторых судов с пониженным уровнем риска, таких как суда снабжения и буксиры. Идея была поддержана экспертами в различных областях морской отрасли [5].

С таким предложением выступила делегация Германии на 47-й сессии подкомитета ИМО по конструкции в ноябре 2003 г.

Делегация Японии, не подвергая сомнению предложение Германии в целом и признавая ценность фактических данных и мнения экспертов, в то же время отметила, что в вышеупомянутом исследовании по методу ФОБ не использовался анализ неопределенности, который возникает из-за неполной или неточной информации о рисках, их вероятности возникновения и потенциальных последствиях, что снижает качество анализа рисков. Кроме того, вероятность доступной помощи была определена субъективно, не учитывались такие специфические характеристики судов, как высота надводного борта, возможность аварийных судов самостоятельно справиться с ситуацией и дойти до ближайшего порта убежища [6].

Япония провела собственное исследование, включающее анализ неопределенности по методу дискретного распределения вероятностей. Для оценки частоты возникновения аварий на танкерах у берегов Японии были обработаны данные Японского агентства по расследованию морских происшествий MAIA (Japan Marine Accidents Inquiry Agency) за период с 1990 по 2002 год, согласно которым количество танкеров вместимостью 300 и выше составляет 15160. Частота аварий, которые происходят с танкерами этого тоннажа под японским флагом в прибрежной зоне Японии и, следовательно, приводят к аварийной буксировке, составляет 0,00422 на судно в год. В результате анализа неопределенности стало ясно, что обязательная

установка систем аварийной буксировки на танкеры водоизмещением 300 тонн и выше не может быть оправдана [6].

Однако, Германия по-прежнему считала, что обязательные требования к устройству аварийной буксировки практически на всех типах судов являются необходимой и значимой мерой, позволяющей избежать загрязнения окружающей среды и укрепить систему безопасности, и выразила готовность продолжить обсуждение с учетом высказанных замечаний.

Вскоре была образована рабочая группа под председательством Германии, в которой также приняли участие Австралия, Кипр, Италия, Япония, Нидерланды, Соединенное Королевство, Соединенные Штаты, Международная палата судоходства, Международный союз спасателей и другие неправительственные организации.

Первоначально область применения изменений должна была охватывать все новые суда валовой вместимостью 500 и выше (или 400 и выше, которые должны иметь SOPEP), за исключением судов с резервной энергетической установкой. Суда должны быть оборудованы таким образом, чтобы аварийная буксировка могла быть организована без помощи членов экипажа.

Исходя из ограниченного объема имеемых данных, Группа резюмировала, что существует необходимость перейти от попыток предписать оборудование к рассмотрению аварийных процедур, и что бы это было применимо как к новым, так и к существующим судам. Предлагаемый функциональный подход должен основываться на анализе использования палубного оборудования с учетом конкретной конструкции судна.

Процедура, которая должна использоваться при аварийной буксировке должна содержать сценарии аварийной буксировки, требования к техническому обслуживанию оборудования, используемого при буксировке. Кроме того, такие аварийные процедуры должны быть одобрены государством флага и подлежать проверке государствами порта.

Резолюцией MSC.256(84) от 16 мая 2008 года была принята новая редакция правила 3-4, которое получило название «Устройства и процедуры для аварийной буксировки». Кроме требований по оснащению устройствами для аварийной буксировки в обеих окончностях каждого танкера дедвейтом не менее 20 000 тонн, предписывало наличие Процедур аварийной буксировки на борту всех пассажирских судов не позднее 1 января 2010 года, новых и существующих грузовых судов не позднее 1 января 2012 года.

Процедура должна включать:

- чертежи носовой и кормовой частей палубы, показывающие возможные устройства для аварийной буксировки;
- перечень оборудования, имеющегося на борту, которое может быть использовано при аварийной буксировке;
- средства и методы связи; и
- образцы процедур для облегчения подготовки и проведения операций по аварийной буксировке.

Владельцам, операторам и экипажам судов следует учитывать, что в чрезвычайной ситуации нет времени на обсуждения. Соответственно, эти процедуры должны отрабатываться заранее. Содержание процедур должно соответствовать Руководству для судовладельцев и операторов по подготовке процедур аварийной буксировки (Циркуляр MSC.1/Circ.1255 от 13 мая 2008 г.). Процедуры должны рассматриваться как часть указанных в пункте 8 части А Международного кодекса по управлению безопасностью (МКУБ) требований по готовности к чрезвычайным ситуациям. Процедуры аварийной буксировки добавлены в Перечень документов, которые должны находиться на борту судов (циркуляр FAL.2/Circ.87.MEPC/Circ.426.MSC/Circ.1151).

Делегация Японии представила пример буклета аварийной буксировки для балкера класса Panamax, цель которого оказать помощь судостроителям и судовладельцам в разработке аварийных процедур в соответствии с требованиями международной конвенции СОЛАС и положениями Руководства. В проекте приняли участие судостроители, судовладельцы, буксирные компании, классификационное общество, государственные органы.

Подводя итог вышесказанному можно резюмировать следующее. Правовая ситуация сложилась так, что в соответствии с резолюцией MSC.35(63) с поправками, танкеры дедвейтом 20000тонн и более должны иметь устройства аварийной буксировки на носу и корме, а также процедуры буксировки; в то время как другие типы судов (циркуляр MSC.1/Circ.1255) должны были иметь только процедуры буксировки, но не обязаны оснащаться аварийным буксирным устройством. С этим не были согласны многие страны, и дискуссии по данному вопросу в ИМО продолжались.

США представили сведения о 346 инцидентах, зарегистрированных в базе данных береговой охраны, в ходе которых суда теряли ход, рулевое управление или электроснабжение за период с 2010 по 2022 год. Доклад включал в себя обзор инцидентов с судами большого диапазона по тоннажу и типу: от небольших буксирных судов до крупных пассажирских судов и контейнеровозов дедвейтом от 150 до 169 000 тонн [7].

Наиболее драматичным событием у берегов Аляски стала гибель малазийского балкера «Selendang Ayu» класса Panamax, который 28 ноября 2004 года вышел из Сиэтла, имея на борту 60200 тонн соевых бобов назначением в Сямынь, Китай и 1000 тонн бункерного топлива. Рассчитывая прибыть в порт назначения 17 декабря, капитан проложил маршрут по дуге большого круга, который, хотя и позволял значительно сократить путь, но вынуждал судно форсировать зону зимних штормов в Беринговом море к северу от Алеутских островов [7].

Практически с самого начала балкер столкнулся с встречными ветрами, которые достигли ураганной силы после прохода пролива Унимак. Из-за сильной качки и ударов волн пришлось сбавить ход.



Рисунок 11. Схема посадки на мель балкера «Selendang Ayu»

В понедельник 6 декабря ровно в полдень, когда судно находилось примерно в 100 милях от порта Датч-Харбор и примерно в 46 милях от ближайшей точки суши, острова Богослова, вахтенный механик обнаружил трещины в цилиндре №3 главного двигателя, откуда вырывались струи воды.

Действуя в соответствии с инструкцией по эксплуатации, машинная команда остановила двигатель, чтобы отключить дефектный цилиндр, прекратив подачу топлива, охлаждающей воды и воздуха. Работы заняли около трех часов, но двигатель после этого не запустился. Пришлось обратиться за консультацией по радио к суперинтенданту технического отдела компании, который пообещал связаться с фирмой-производителем MAN B&W, после чего прислать инструкции.

Ответ пришел лишь утром следующего дня. По совету специалистов были вскрыты смотровые лючки и осмотрено состояние поршневых колец всех цилиндров. Наконец, удалось установить корень проблемы: двигатель не запускался из-за недостаточной компрессии. На всех поршнях 6-цилиндрового двигателя, за исключением двух, имелись сломанные кольца.

В первую очередь заменили два сломанных кольца поршня цилиндра № 6. Но извлечь поршень массой 1,3 тонны оказалось легче, чем установить на место с помощью судового тельфера в условиях резкой и стремительной качки. Во избежание несчастных случаев с людьми от этой операции пришлось отказаться.

Все это время судно дрейфовало штормовым ветром к берегу со скоростью 1,8 узла, но капитан не спешил обращаться за помощью, надеясь на благополучный исход (рис.11). Но после доклада старшего механика капитан, осознав серьезность ситуации, сообщил о случившемся Береговой охране США. Судовладелец занялся заключением контракта на буксировку.

7 декабря в 11.00 на место действия прибыл катер береговой охраны «Alex Haley», переоборудованный из спасательного судна ВМФ. На нем имелся 8-дюймовый буксир, но буксирная лебедка была демонтирована и на ее месте оборудовали вертолетную площадку. Вся миссия катера свелась к наблюдению за обстановкой.

В 18.30 прибыл нанятый судовладельцем буксир «Sidney Foss» мощностью 3000 л.с. «Selendang Ayu» не имел аварийного буксирного устройства. Приложив героические усилия, «Sidney Foss» подошел достаточно близко к баку балкера, на котором крен на качке достигал 35° на оба борта и подать стальной буксирный трос. Трос с большим трудом выбрала команда балкера и закрепила на кнехтах. Вытравив 550 метров троса, в 20.20 «Sidney Foss» начал буксировку на северо-запад. Для уменьшения трения поверхность клюза балкера была обильно смазана тавотом.

Погода не улучшалась. Временами налетали снежные и ледяные шквалы. Буксиру не удавалось развернуть балкер носом на ветер, несмотря на то, что на нем руль был переложен на борт. Наблюдался сильный снос на юго-восток. Опасаясь чрезмерной нагрузки на трос, скорость буксировки снизили до 1,5 узлов. Несмотря на это, в среду 8 декабря в 07.32 буксирный трос разорвался.

«Selendang Ayu» не смог удержаться на отданных якорях и вскоре оказался на камнях. Экипаж оказался в критическом положении. За ним прибыл вертолет. Все члены экипажа сбрались на баке, надев спасательные жилеты. Гидрокостюмов на борту не было, и спасти удалось не всех. Из поврежденных танков в море попал почти весь запас топлива. Это было второе по величине загрязнение вод Аляски после катастрофы «Эксон Валдес» и очистка берега продолжалась до июня 2006 г. [7].



Рисунок 12. Буксировка автомобилевоза «Cougar Ace»

24 июля 2006 г. в 18:45 местного времени автомобилевоз «Cougar Ace» валовой вместимостью 55328 под флагом Сингапура, следовавший из Японии в Канаду южнее Алеутских островов во время операции по смене балласта получил крен 80° на левый борт. На сигнал бедствия прибыли вертолеты Береговой охраны США и провели эвакуацию всех 23 членов экипажа. Никто при этом не пострадал. Загрязнения морской среды не произошло. 2 августа буксир «Sea Victory» начал буксировку аварийного автомобилевоза, а через неделю он был приведен в бухту Уайд бей на острове Уналашка, где его окончательно поставили на ровный киль (рис.12) [7].

Участились случаи отказов двигателя из-за низкого качества топлива.

28 марта 2007 года панамский балкер «Antilles II» поздней ночью вышел из порта Тампа, Флорида, США с грузом 10704 тонны калийных удобрений навалом назначением в порт Кальдера в Коста-Рике. Погодные условия были благоприятные: переменная облачность, слабый восточный ветер, спокойное море, видимость около 7 миль, скорость приливного тече-

чения около 1 узла. Все оборудование работало исправно. Энергоснабжение обеспечивали два дизель-генератора. Судно следовало по судоходному фарватеру полным ходом. На руле стоял матрос-рулевой.

Внезапно судно обесточилось и потеряло управление. По приказу капитана были отданы оба якоря, но якорь-цепи при этом набрали такую скорость, что ленточный тормоз брашпилия не смог их удержать. Они ушли за борт вместе со жвако-галсом, концевым звеном цепи. Через несколько минут балкер плотно сидел на мели. Это произошло в нескольких кабельтовых от моста Саншайн Скайвей через Тампа-бей. К счастью, обошлось без человеческих жертв и загрязнения окружающей среды. Спустя шесть часов в полную воду с помощью трех буксиров судно удалось снять с мели.



Рисунок 13 Засоренные топливные фильтры – причина аварии

Основной причиной остановки всех дизель-генераторов стало низкое качество дизельного топлива, принятого в Новом Орлеане, которое сильно засорило топливные фильтры, как видно на прилагаемых фотографиях (рис.13) [7].

С учетом уроков этих аварий компания Glosten при поддержке фирмы по производству синтетических канатов Samson RopeTechnologies разработали систему крепления и аварийной буксировки EVATS (Emergency Vessel Attachment & Towing System), предназначенную для преодоления многих опасных аспектов традиционных методов спасания, позволяющую быстрое и безопасное развертывание и более надежное крепление (рис.14).

Основные отличительные черты EVATS следующие:

- Большое число точек крепления на аварийном судне;
- Универсальная совместимость со стандартным швартовным оборудованием;
- Способность разворачивания как с помощью спасательного судна, так и с помощью вертолета (БПЛА);
- Конец буксирного троса может быть выбран из воды не только в районе носовой части, но и в любом другом месте аварийного судна;
- Быстрое развертывание в штормовую погоду и при пониженной видимости;
- Возможность разворачивания даже при вышедшем из строя оборудовании аварийного судна;
- Обеспечение безопасного расстояния между аварийным и спасательным судами при разворачивании.

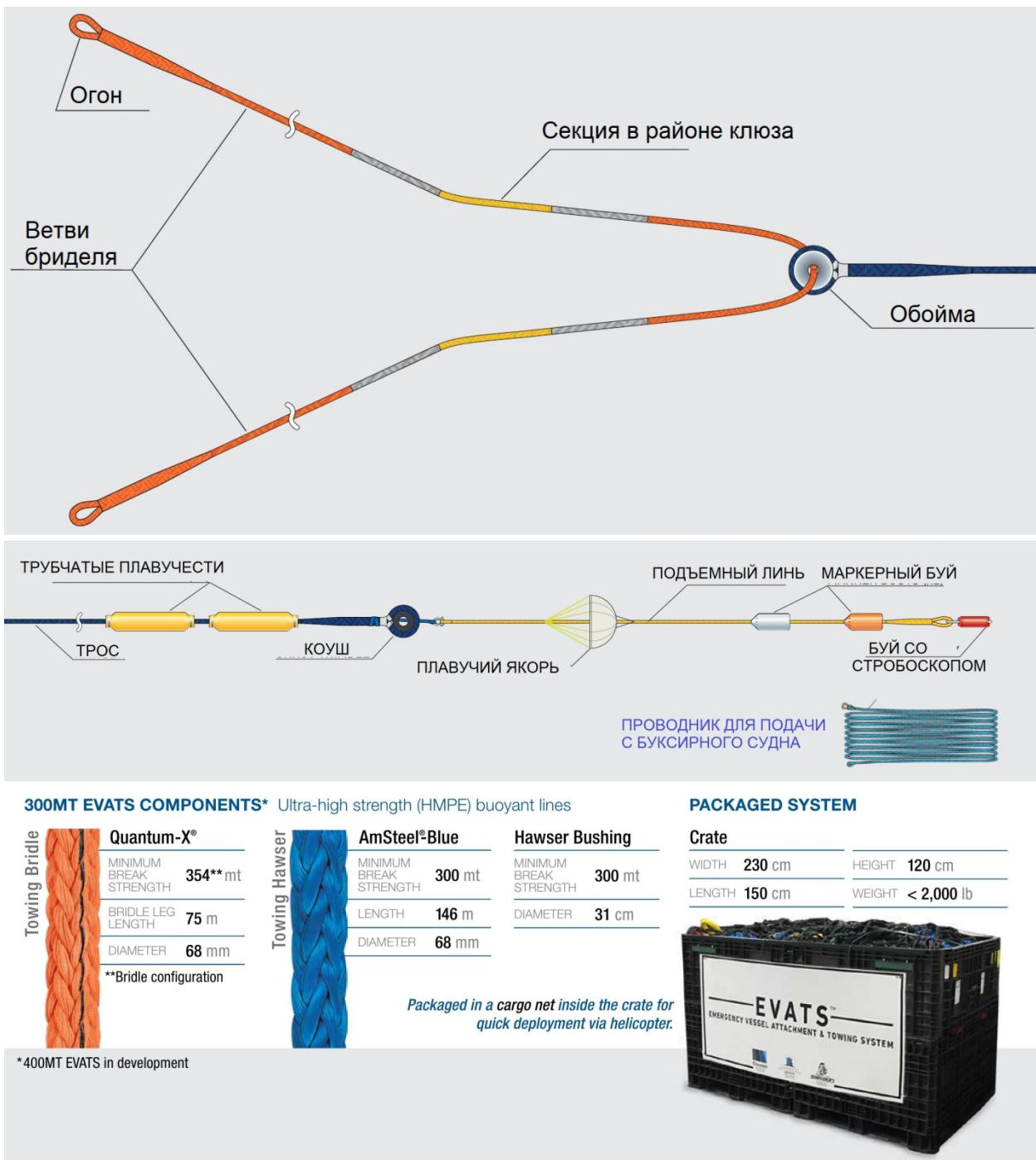


Рисунок 14. Аварийное буксирное устройство EVATS

Система EVATS состоит из:

Буксирного бриделя из каната Samson Quantum-X, который проводится через центральный клюз на аварийном судне и крепится на нескольких крепежных приспособлениях (рис.15). Канат имеет повышенный коэффициент трения для надежности сцепления с кнектами и битенгами по сравнению с обычными синтетическими канатами. В районе клюза канал имеет анти абразивное покрытие для предохранения от перетирания.

Соединительная обойма изготовлена из алюминиевого сплава, устойчивого к работе в морских условиях и имеет оптимальное отношение угла изгиба к диаметру троса. Обойма позволяет ассиметрично вооружать ветви бриделя (рис.16).

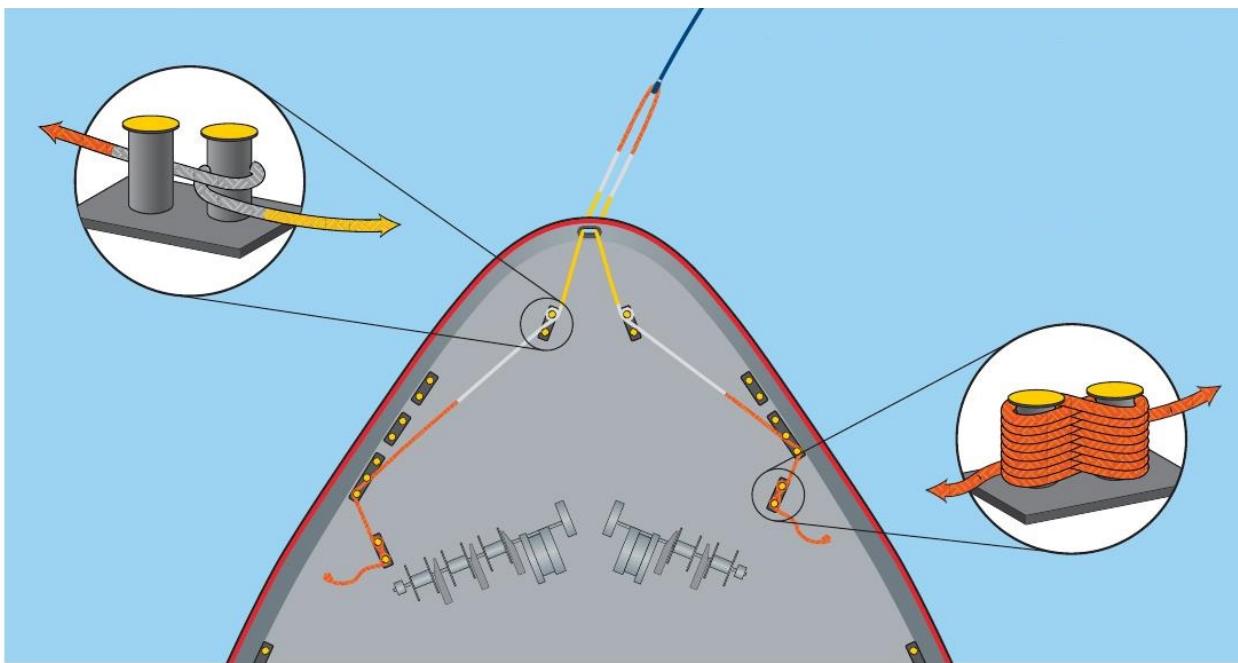


Рисунок 15. Крепление системы EVATS на аварийном судне



Рисунок 16. Соединительная обойма

Буксирный трос изготовлен из каната AmSteel-Blue, сочетающим в себе экстремальную прочность с легкостью обращения и положительной плавучестью. Трубчатые плавучести предназначены для поддержания коуша на поверхности воды и облегчения подъема.

В подъемный линь включен плавучий якорь, который позволяет ему растягиваться по направлению ветра или течения при подаче с дрейфующего судна. Это позволяет спасательному судну держаться на расстоянии вместо попыток опасного маневрирования для подхода к носу аварийного судна. Дополнительные маркерные буи и маячок со стробоскопом делают подъемный буй заметным при темноте и пониженной видимости.

EVATS хранится в контейнере и его масса менее 800 кг позволяет транспортировку любыми типами спасательных вертолетов (рис.17) [7].

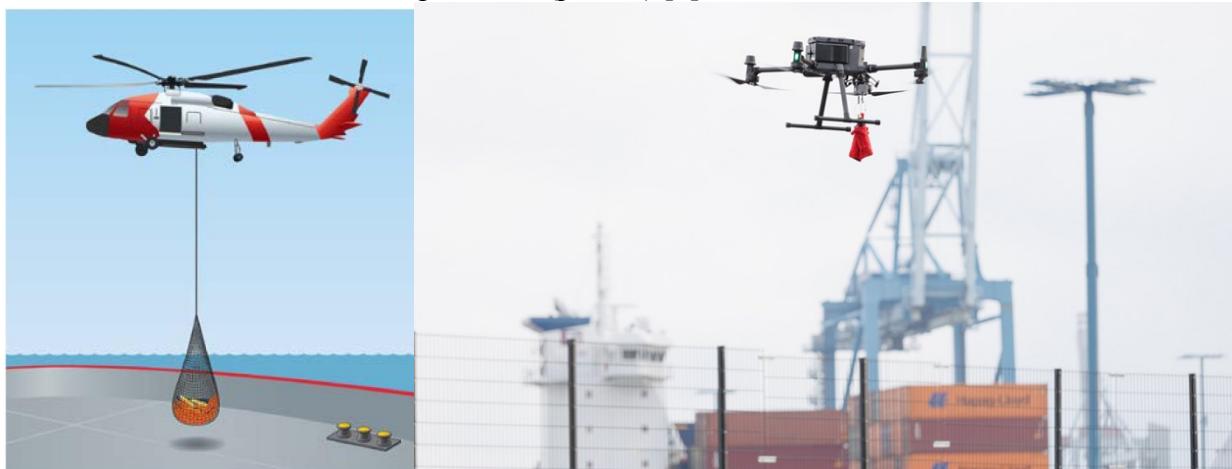
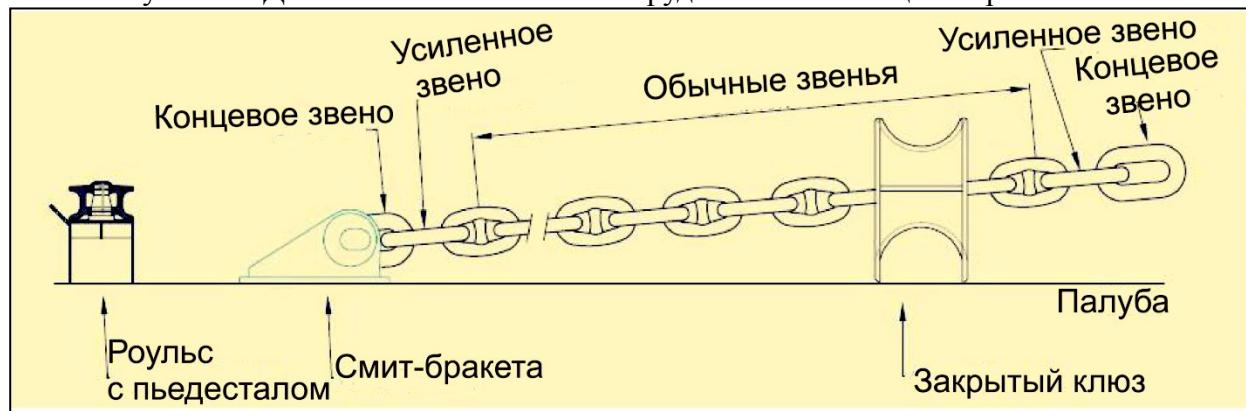


Рисунок 17. Доставка спасательного оборудования с помощью вертолета и БПЛА



© Deena Engineering Works

Рисунок 18. Система аварийной буксировки с бракетой Смита

Действующее правило II-1/3-4 было разработано на основе уроков, извлеченных из инцидента с танкером «Браер». Концепция правила II-1/3-4 заключалась в том, что танкер должен быть оснащен надежным и готовым к быстрому развертыванию буксирным устройством как в носовой, так и в кормовой частях, таким образом, океанский спасательный буксир мог выполнить буксировку танкера. В связи с этим возник вопрос о доступности океанского спасательного буксира. Если же такого буксира нет, то возникает необходимость в буксировке несколькими буксирами меньшего размера и устройстве нескольких точек крепления.

Существующие системы аварийной буксировки полагаются на единственную точку крепления на палубе, что может вызвать чрезмерную нагрузку на конструкции, особенно при неблагоприятных условиях погоду. Это может привести к повреждениям и подвергнуть опасности судно и людей.

В связи с этим Международным форумом нефтяных терминалов OCIMF предложена система аварийной буксировки с многоточечным креплением, в состав которой входят буксирный шкентель из каната нового поколения Dyneema® диаметром 48 мм (SWL 202 т) длиной 60 м, «пружины» диаметром 104 мм (CMU 212 т) длиной 30 м, соединенной с буксирным тросом и бракеты Смита, изготовленные из высокопрочной стали (рис.18).

В пятницу 21 июля 2017 года близ порта Гавр Морской администрацией Франции совместно с судоходной корпорацией CMA CGM Group были проведены учения по буксировке крупного контейнеровоза. В учениях принимал участие контейнеровоз «CMA CGM Marco Polo» дедвейтом 186470 т, вместимостью 16 020 контейнеров в 20-футовом исчислении, длина которого составляла 396 м, ширина 53,6 м, осадка 16 м (рис.20) и буксир-спасатель «Abeille Languedoc» мощностью 9 415 kW и тяговым усилием 160 тс. Длина буксира-спасателя составляла 63,45 м, ширина 14,43 м, осадка 7,30 м, полное водоизмещение 3500 тонн.

Во время учения контейнеровоз «CMA CGM Marco Polo» имитировал неисправность главного двигателя. Высадившаяся на скоростной лодке Zodiac аварийная партия за 15 минут закрепила поданный с помощью линемета буксир.

Бракета Смита наглядно продемонстрировали свои преимущества как простое и быстрое средство крепления и освобождения буксирной линии [8].

Тридцать лет назад ИМО после драматических инцидентов с загрязнением окружающей среды, которые неоднократно происходили в Европе с конца 1960-х годов, сосредоточила внимание на риске, связанном с очень и ультрабольшими танкерами (VLCC, ULCCs). Возможность проведения аварийной буксировки танкера, способного вызвать экологическую катастрофу, рассматривалась в качестве приоритетной задачи. Сейчас ситуация изменилась.

Увеличение размеров судов больше не позволяет осуществлять аварийную буксировку без соответствующего оборудования. Сегодня при буксировке очень большого коммерческого судна в открытом море пиковая тяговая нагрузка может превышать 100 тонн, хотя эти суда, как правило, оснащены буксирным устройством, которое ее не выдерживает.

Следует также отметить, что возросшая активность на море, в частности, строительство множества ветряных электростанций вблизи основных морских путей, потребует еще большей, чем сегодня, способности быстро буксировать суда, находящиеся в затруднительном положении.

В то же время появились легкие и прочные системы аварийной буксировки, пригодные для использования на судах любых типов.

Ввиду того, что суда валовой вместимостью 150000 и более, не являющиеся танкерами, могут иметь длину свыше 300 м и их буксировка в случае аварии связана с большими трудностями, но в то же время они имеют достаточно свободного места на палубе, делегация Китая предлагала распространить требования по оснащению устройствами аварийной букси-

ровки на танкеры дедвейтом не менее 20000 т и другие новые суда валовой вместимостью 150000 и более. К существующим судам эти требования не должны применяться в связи с трудностями переоборудования [9].

Австралия и страны Евросоюза настаивали на распространении поправок к Правилу II-1/3-4 на все новые суда валовой вместимостью 20 000 тонн и выше, не являющиеся танкерами [9].

После обсуждения и с учетом мнения большинства было принято пороговое значение 20000 и выше для новых судов, требующих аварийной буксировки, что подтверждается статистикой происшествий, представленной США.

Комитет по безопасности на море (КБМ) на 108-й сессии принял резолюцию MSC.549(108), содержащую поправки к правилу II-1/3-4 Конвенции СОЛАС, касающиеся новых требований к новым судам, не являющимся танкерами валовой вместимостью не менее 20 000 тонн, которые должны быть оборудованы устройствами аварийной буксировки (ЕТА), с ожидаемой датой вступления в силу 1 января 2028 года.

На 110-сессии КБМ в августе 2025 года были приняты циркуляры:

MSC.1/Circ.1691 Временное руководство по требованиям, касающимся аварийной буксировки судов, не являющихся танкерами

MSC.1/Circ.1175/Rev.2 Пересмотренное руководство по судовому буксирному и швартовочному оборудованию

MSC.1/Circ.1255/Rev.1 Пересмотренное руководство для владельцев и операторов по подготовке процедур аварийной буксировки.

Делегация Индии выразила надежду, что в будущей работе при пересмотре концепции аварийно-буксирного оборудования и механизмов будет учитываться человеческий фактор путем проектирования, ориентированного на человека; кроме того, требования к компетентности при эксплуатации такого оборудования должны быть четко определены, оборудование и порядок буксировки должны быть включены в минимальные требования к квалификации капитанов и старших помощников капитана в сводной таблице раздела A-II/2 Кодекса ПДНВ.

Все большее число судов особенно паромы, оснащается резервным оборудованием и компонентами рулевого управления. При этом безопасность судна, безусловно, повышается. Даже некоторые крупные танкеры дедвейтом 314000 тонн недавно были построены с избыточным оборудованием: двойной корпус, два главных двигателя в отдельных помещениях, две рулевые установки, два гребных винта. Вопрос о том, может ли подобное резервирование служить основанием для освобождения таких судов от обязательной системы аварийной буксировки окончательно не решен.

Термин «аварийная буксировка» следует понимать как процедуру соединения судна, терпящего бедствие и потерявшего ход, с судном, оказывающим помощь, посредством буксирного троса.

Цель аварийной буксировки состоит в том, чтобы удержать судно, оказавшееся в затруднительном положении и предотвратить дальнейший дрейф по ветру, который может закончиться посадкой на мель. Сюда входит удержание судна на мели против ветра и течения во время прилива, чтобы избежать дальнейшего выброса его на берег. Эта интерпретация может быть расширена на другие спасательные меры, такие как контролируемое позиционирование терпящего бедствие судна с учетом направления ветра при тушении пожара или экстренной эвакуации людей. Продолжительность аварийной буксировки, как правило, будет ограничена продолжительностью неблагоприятных погодных условий, или восстановлением питания на судне, терпящем бедствие, или прибытием профессионального спасательного судна, которое может принять управление без неоправданного риска.

Существует множество возможных вариантов развития событий при авариях судов, когда например, столкновение сопровождается пожаром и заканчивается затоплением или посадкой на мель с последствиями для здоровья и жизни людей, ущербом морской среды и потерей имущества. Общим для всех них является то, что может наступить период времени, когда «потеря управления» судном приводит к обострению ситуации, главным образом из-за угрозы посадки на мель с последующими потерями и повреждениями.



Рисунок 19. Последствия потери движения

На рис. 19 показаны возможные последствия первоначального инцидента. Конечно, иногда случаются такие аварии, когда потеря управления неизбежно связана с цепочкой событий и вопрос об экстренной буксировке остро не стоит. Еще одно ограничение обусловлено влиянием географического района плавания и погодных условий. Потеря управления в открытом море или при умеренной или хорошей погоде дает достаточно времени для принятия мер по исправлению положения во время дрейфа. Следует отметить, что аварийная постановка на якорь ограничена подходящими условиями морского дна у подветренного побережья и применением исключительно разумных мореходных навыков в неблагоприятных погодных условиях. Якорь по-прежнему является предпочтительным средством экстренного реагирования при потере управления в узостях и на реках, и шансы на успех здесь намного выше, чем в открытом море во время шторма.

Если аварийное судно потеряло ход и не может маневрировать, необходимо сосредоточить все внимание на положение относительно навигационных опасностей.

Если потеряна возможность движения и нет перспектив восстановить его в ближайшее время, следует оценить близость судна к навигационным или другим опасностям и нанести

скорость и направление дрейфа на карту соответствующего масштаба (бумажную или электронную) в сочетании с любой информацией о дрейфе судна. По мере развития ситуации можно будет с большей точностью прогнозировать вероятно направление и скорость дрейфа судна в реальных погодных условиях.

Поведение крупнотоннажных танкеров в дрейфе отличается от поведения судов меньших размеров. В публикации [4] в табличной приведены результаты компьютерного моделирования элементов дрейфа танкеров и газовозов дедвейтом от 50 000 до 88 000 тонн, проведенные в Морском институте в Лондоне.

Следующим шагом является оценка того, как можно повлиять на направление дрейфа судна. При этом следует учитывать, что:

- Изменение курсового угла ветра на левый или правый борт до потери инерции и рулевого управления может изменить направление дрейфа на величину до 60° . Это может увеличить морское пространство возможно лучшим способом повлиять на направление дрейфа без привлечения посторонней помощи.

- Если судно потеряло рулевое управление, на скорость и направление дрейфа можно повлиять, придав судну крен или увеличив или уменьшив существующий дифферент или даже изменив дифферент на корму на дифферент на нос, фиксацией руля на подветренный борт.

Если судну грозит посадка на мель, подготовьте якоря до того, как они понадобятся. В этом случае риск их потери не должен задерживать принятие решения о постановке на якорь. Если судно дрейфует в водах, где якорь может достать до дна, используйте якорь (якоря), чтобы попытаться остановить движение судна. Если дно песчаное или илистое, медленно опускайте якорь, пока он не начнет волочиться по морскому дну, чтобы остановить движение. Каменистое дно снижает шансы на успех, но все же попробуйте использовать якорь, если это единственный способ избежать посадки на мель.

Если судно дрейфует в опасном направлении, потребуется экстренная буксировка. В этом случае должно быть привлечено наиболее подходящее из имеющихся спасательных судов и заключен контракт на спасение судна, находящегося в опасности. Выбор может быть ограничен доступным временем до того, как судно окажется в опасности.

Всегда следует помнить, что даже если судну не угрожает непосредственная опасность, ситуация может быстро ухудшиться. Риск быстрого ухудшения существующих или ожидаемых условий может определять условия контракта на оказание услуг.

Буксировка аварийных судов - это искусство, требующее большого терпения и опыта, а также необходимого оборудования. Поэтому далеко не каждое грузовое судно сможет справиться с этой задачей. Прежде, когда спасательные службы размещались на больших расстояниях вдоль побережья и суда были сравнительно небольшими, было много случаев оказания помощи и буксировок обычными судами судов, терпящих бедствие. Однако с появлением супертанкеров и крупных балкеров привлечение обычных судов к буксировке стало непрактичной из-за малочисленности персонала и других факторов. Однако, если наблюдается дрейф аварийного судна в сторону опасности и нет подходящих буксиров, такая буксировка может быть единственным решением.

Военные корабли не являются идеальными буксировщиками, но они мощные и весьма маневренные. Кроме того, у них, как правило, большая команда и может базироваться вертолет или быстроходный катер, которые могут помочь, если потребуется передача аварийных партий.

Портовые буксиры, как правило, не приспособлены к операциям в открытом море, не имеют буксирной лебедки. Мощность этих судов достаточна для обеспечения поворота или

маневрирования крупных судов, но не для удержания или буксировки судов, терпящих бедствие, при неблагоприятных погодных условиях. Экипаж малочисленный и не имеет специальной подготовки. Однако в аварийной ситуации в защищенных водах они могут оказать помощь судну в ситуации потери хода довольно эффективно.

Весьма полезными могут оказаться многоцелевые суда для обслуживания буровых установок на шельфе. Они обычно оснащены несколькими подруливающими устройствами, отличаются высокой маневренностью, предназначены для работы в суровых морских условиях и могут развивать достаточную мощность. Однако численность экипажа на этих судах, как правило, невелика для проведения длительных спасательных операций.

Главными преимуществами океанских буксиров-спасателей являются большие мощность и скорость, дающие возможность быстро прибывать в район аварии и с большой скоростью производить буксировку крупнотоннажных судов. Профессиональные спасательные буксиры, как правило, оборудованы наилучшим образом. Экипаж на борту этих судов хорошо обучен и имеет опыт оказания всевозможной помощи судну, терпящему бедствие. При подготовке к буксировке они могут даже предоставить спасательный персонал. Определенным недостатком может быть большая осадка, необходимая для хорошей мореходности. Это может быть помехой, когда требуется помочь на мелководье.

Успешное применение концепции аварийной буксировки зависит от доступности адекватных буксировочных мощностей в географическом интервале вдоль побережья, позволяющей вмешательство до того, как судно, терпящее бедствие, достигнет берега или другого критического объекта.

Специализированные брокеры предлагают как экстренную, так и плановую буксировку. Многие из них работают круглосуточно и располагают базами данных, которые позволяют отслеживать местонахождение ближайших спасательных судов и океанских буксиров и лучше всего подходят для консультирования компаний.

Заведение буксира всегда было опасной операцией, как на борту судна, терпящего бедствие, так и на борту судна, оказывающего помощь, особенно в неблагоприятных погодных условиях. Эту операцию осложняют такие факторы, как темнота, пожар на борту терпящего бедствие судна, сильная волкость, интенсивное движение судна, сильный ветер и другие.

Еще одним препятствием может быть полное отсутствие опыта у командования и экипажа судна в подготовке аварийного буксирного соединения. Использование буксиров при швартовных операциях им знакомо, но оно имеет мало общего с принципами аварийной буксировки с точки зрения прочности, длины и, следовательно, веса снаряжения. Поэтому особое значение имеют заранее разработанные процедуры аварийной буксировки и их отработка на учениях.

Если аварийная постановка на якорь и/или аварийная буксировка не удаются и невозможно избежать посадки судна на мель в неблагоприятных погодных условиях, главной и неотложной задачей является спасение экипажа, если только это уже не было сделано ранее. Эта спасательная операция, как правило, проводится с помощью вертолета или спасательных катеров.

Буксировка терпящего бедствие судна к порту убежища или безопасной якорной стоянке должна рассматриваться как коммерческая спасательная операция.

Способ, организация и выполнение буксировок транспортными и промысловыми судами достаточно подробно изложены в курсах морской практики. Необходимо также изучить «Руководство по безопасной океанской буксировке», рекомендованное циркуляром ИМО MSC/Circ.884 от 21.12.1998 г.

В Брюссельской конвенции 1910 г. заложена основа международного права об оказании помощи на море – спасании человеческой жизни и помощи аварийным судам.

При наличии значительных повреждений корпуса, особенно разрывов и гофр палубы, днища, бортов принимаются меры для обеспечения прочности судна и предотвращения перелома на волне при переходе в порт ремонта.

Степень повреждения судна, как правило, определяет, следует ли буксировать его с носа или с кормы, чтобы предотвратить дальнейшее повреждение судна или вред окружающей среде во время буксировки.

Чтобы предохранить трос от перетирания, его смазывают тавотом, солидолом и другими маслами, подкладывают под него маты, клетнюют; но при крутом изгибе троса в клюзе масло быстро выдавливается, а клетневка и маты быстро истираются. В таких случаях под трос рекомендуется подкладывать деревянные клетки или латунную ленту, намотанную на трос или закрепленную в клюзе. При необходимости постоянного смазывания трущегося места маслом целесообразно подвесить мешок с паклей, намоченной в масле, таким образом, чтобы масло стекало на нужный участок. Отличным решением является использование цепи, предотвращающей перетирание, в качестве части буксирной линии, которая доходит до точки, расположенной непосредственно за клюзом.

Спасение груза зависит, в первую очередь, от его технической осуществимости и, во вторую очередь, от соотношения стоимости и понесенных издержек. Основным критерием может быть угроза, исходящая от груза для морской среды. Последний аспект также применим к бункерному топливу на борту затонувшего судна. Такое спасение груза и бункера всегда будет дорогостоящим предприятием с низкими или нулевыми перспективами экономического успеха. В частности, откачка холодного мазута оказалась чрезвычайно сложной и дорогостоящей задачей.

Список литературы

1. Jolly D. Wreck, Rescue and Salvage. A Rare Insight into the Little Known World of Deep-Sea Towing and Marine Salvage/Wittles Publishing, Dunbeath, Scotland, UK. 2006. 154 p.
2. Аварийность морского флота в 2024 году/ Мотрич В.Н./ Морские вести России [Электронный ресурс]//Режим доступа <https://morvesti.ru/themes/1693/117022/> (дата обращения: 27.11.2025)
3. Report of the Chief Inspector of Marine Accident into the Engine Failure and subsequent Grounding of the MT BRAER on 5th January 1993. [Электронный ресурс]// Режим доступа https://assets.publishing.service.gov.uk/media/54c11606e5274a15b3000015/MAIBReport_Braer-1993.pdf (дата обращения: 27.11.2025)
4. Peril at Sea and Salvage, Guide for Masters. Sixth edition. International Chamber of Shipping / Published by Witherby Publishing Group, LTD. Livingstone, Scotland, UK. 2020. 102 p.
5. Formal Safety Assessment On Emergency Towing Systems for other ships than tankers 20,000 tdw/German Federal Ministry for Transport, Building and Housing/ GAUSS mbH, Bremen / Germany. 2001. 51 p.
6. Mandatory emergency towing systems in ships other than tankers greater than 20,000 dwt. Review of the FSA study on ETS by Germany. [Электронный ресурс]// Режим доступа <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=28957> (дата обращения: 27.11.2025)
7. Development of amendments to SOLAS regulation II-1/3-4 to apply requirements for emergency towing equipment for tankers to other types of ships incident summaries of vessels experiencing loss of propulsion or steering while under way submitted by the United States. [Электронный ресурс]// Режим доступа <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=139542> (дата обращения: 27.11.2025)

8. Summary of the towing exercise between a large container ship, the CMA CGM Marco Polo, and the response, assistance and rescue tug Abeille Languedoc. [Электронный ресурс]// Режим доступа <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=122000> (дата обращения: 27.11.2025)

Поступила в редакцию 10 декабря 2025 г.

ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 378:656.61

Дефицит кадров как главная угроза транспортной безопасности

Шаркевич Анатолий Владимирович, Москвин Данил Денисович, tolan2018g@gmail.com, ballntdany@yandex.ru

Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток

В данной статье рассматриваются причины дефицита качественных профессиональных кадров в сфере морского транспорта. Эта проблема возникает из-за несовершенства современного образования и является одной из основных угроз транспортной безопасности.

Ключевые слова: дефицит кадров, мотивация, морское образование, популяризация, учебные технологии.

Staff Shortage as the Primary Threat to Transport Security

Sharkevich Anatolii Vladimirovich, Moskvin Danil Denisovich, tolan2018g@gmail.com, ballntdany@yandex.ru

Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

This article examines the causes of the shortage of qualified professional personnel in the maritime transport sector. This problem stems from deficiencies in the current education system and represents one of the main threats to transport security.

Keywords: staff shortage, motivation, maritime education, promotion, educational technologies.

Введение

В современном мире, где торговля занимает определяющую позицию в экономике, по данным ООН за 2024 год ее объем достигает 32.2 трлн долларов. Сложно переоценить роль морского транспорта как главного источника товаров на любом континенте. Согласно отчету Конференции ООН по торговле и развитию доля морских грузоперевозок достигает 80% от всего объема мирового грузооборота. Для успешного развития мирового транспортного флота необходимы успехи в сферах цифровых технологий, достижения в области металлургии и новые идеи в сфере кораблестроения. Но не смотря на развивающуюся систему автоматизации в эксплуатации судового оборудования и совершенствование в области безопасности мореплавания, существует единственная проблема, которая не позволяет осуществлять полностью безаварийное управление судовыми средствами. Квалифицированный специалист является краеугольным камнем в успешности любой организации. Но в нынешних реалиях как отмечает Российский профсоюз моряков нехватка командного состава самая высокая за по-

следние 17 лет. Причинами такой проблемы прямо или косвенно служат многие факторы, с точки зрения курсантов морского университета мы рассмотрим основные из них на наш взгляд.

Недостаточная популяризация

Каждый старшеклассник в школе задумывается над тем, как продолжить свой жизненный путь и какое образование получить. В эпоху цифровых технологий большинство стремится связать свою жизнь со сферой ИТ. Рабочие профессии будь то сварщик или морской инженер все меньше и меньше интересуют молодое поколение. Некоторые из старшеклассников даже и не подозревают о таком виде деятельности как работа на морском и речном транспорте. Опираясь на свой опыт и проведенные опросы среди однокурсников мы можем сказать, что профессия моряка в большинстве своем профессия семейная и людей со «стороны» в ней крайне мало. Однако некоторые все же решают прийти в эту профессию узнав о ней спонтанно, например через знакомых или увидев информацию об этом через интернет. Слабая освещенность морского рода деятельности особенно актуальна в регионах далеких от морей. Речные же училища слабо заинтересованы в какой-либо рекламе своих услуг, и перспективная молодежь находит себе совсем другой род деятельности. Конкретно в Морском Государственном Университете им. адм. Г.И. Невельского этот вопрос получил свое решение. Аккаунты в различных социальных сетях, присутствие на городских мероприятиях, направленных на привлечение абитуриентов, все это помогает сформировать основу для будущего выпуска дипломированных специалистов. Однако, как уже упоминалось выше вопрос рекламы морских профессий стоит особенно остро в регионах далеких от морей. Большинство старшеклассников даже не знают о существовании морских профильных университетов и о морском транспорте в целом. Речные училища в свою очередь не спешат заявлять о себе в стенах школ и организаций, специализирующиеся на водном транспорте тоже остаются в стороне. Как бы парадоксально это не звучало, решение этих проблем лежит на поверхности. Организация отделов, направленных на распространение деятельности речного транспорта и работы их команд. Судоходные компании в свою очередь могли бы организовывать профильные классы в стенах школ. На примере Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» или НК «Роснефть», организующих такие наборы. В этих классах помимо углубленного изучения технических предметов проводятся внешкольные мероприятия, направленные на ознакомление учащихся с родом деятельности компаний. Можно смело заявить, что такой подход имеет большой потенциал для привлечения будущих специалистов в ту или иную отрасль.

Отсутствие мотивации

Попав в стены морского учебного заведения, некоторые курсанты сталкиваются с таким явлением как отсутствие мотивации к обучению по выбранной специальности. Это проявляется в наличии академических задолженностей, которые накапливаются от курса в курс. В свою очередь университет не спешит расстаться с абсолютно не мотивированным и не желающим учиться курсантом. Количество «должников» служит сдерживающим фактором к их отчислению. Из проведенного нами статистического исследования можно выделить то, что в потоке курсантов Факультета судовой энергетики 2024 года набора за первый семестр лишь 30% получили аттестацию по дисциплине «Начертательная геометрия». Отчислив больше половины потока по итогам первой сессии, университет фактически теряет вложенные федеральные средства в обучение проживание и питание этих курсантов. Но помимо финансовых

потерь, данное решение несет в себе потерю человеческого капитала. Можно предположить, что некоторые из заваливших экзамены курсантов смогут освоить дисциплину и успешно выпустится из университета. Однако проблема неуспеваемости такого большого количества учащихся появляется еще до их первого занятия в стенах университета. В силу дефицита дипломированных специалистов, учебное заведение вынуждено занижать порог результатов Единого Государственного Экзамена и увеличивать количество бюджетных мест. Исходя из этого, бюджетных мест в университете столько же, сколько и желающих попасть в него. Поэтому среди абитуриентов большое количество тех, кто поступил потому, что «надо» куда-то поступить, чтобы получить отсрочку от службы в армии или по наставлению родителей. Такое количество не мотивированных к освоению программы обучающихся, дурно влияет и на тех, кто имеет серьезные намерения. Отсутствие здоровой конкуренции среди однокурсников, помещает их в «тепличные» условия, где быть преуспевающим в учебе курсантом не интересно с точки зрения социальных настроений. Решение этой проблемы столь же болезненно, как и сама проблема. Повышение входного порога в учебное заведение снизит количество поступивших, однако возрастет число тех, кто по-настоящему заинтересован в получении специальности. Так же стоит обратить внимание на более строгий контроль за успеваемостью курсантов. Вопрос об отчислении обучающегося должен стоять на более высоком уровне, по сравнению с тем, что наблюдается сейчас. Неуспевающего курсанта буквально «вытрягивают» из академических задолженностей ради того, чтобы иметь нужное по плану количество выпускников. Так же возможен вариант распространения практики платного обучения. Это существенно повысит качество отношения курсанта к учебному процессу, ведь средства в этот процесс вкладывает он сам, и соответственно стремится извлечь максимальную выгоду из своих вложений.

Устаревание учебных технологий

Неотъемлемой частью обучения морской профессии является его практическая часть. По выпуску из университета курсант обязан набрать 12 месяцев морского практики для вступления в рабочую должность. Однако в настоящее время остро стоит проблема обеспечения и поддержки учебного флота. По данным Федерального Агентства Морского и Речного Транспорта на 2025 год в Российской Федерации в настоящее время первичная плавательная практика проводится на 3 учебно-парусных судах: «Мир», «Надежда» и «Херсонес», находящихся в хозяйственном ведении ФГУП «Росморпорт». Все эти суда были построены в Польше на Гданьской судоверфи, ПУС «Мир» в 1987 году, ПУС «Херсонес» в 1989 году, а ПУС «Надежда» в 1991 году. Флот с каждым годом стремительно возрастает, в устройство судов всё больше и больше внедряют информационные технологии и автоматизацию. К сожалению, прохождение практик на технически устаревших судах, быт и условия работы, на которых кардинально отличаются от современных могут отбить у курсанта желание работать на флоте. В процессе обучения также вплетены практические занятия, для курсантов судоводителей это навигационные тренажеры, занятия по которым проводят на старших курсах, для курсантов судомехаников же это производственная практика, проходящая в производственных мастерских в стенах учебного заведения. Из-за молниеносного развития морского транспорта, учебные заведения не успевают должным образом соответствовать современным реалиям. Нередки случаи, когда изучают навигационную технику, которой на современных судах нет. В лучшем случае совпадают принципы действия, на которых она работает. После плавательных практик курсанты приносят отчеты, которые не стыкуются с учебными планами. Курсанты судомеханики проходят учебную технологическую практику. Цель данной практики состоит в том, чтобы развить у курсантов профессиональные практические навыки

в сферах обработки металлов и сварки. По итогам прохождения практики обучающийся должен продемонстрировать навыки, подтверждающие полное освоение им программы обучения по проведению технического обслуживания и ремонта судовых механизмов и вспомогательного оборудования. Также был произведен опрос среди выпускников судомехаников на предмет их мнения об этой образовательной технологии как действующих судовых инженеров. Среди опрошенных 96% считают данную учебную технологическую практику важной образовательной технологией на пути становления компетентного специалиста. Однако осознавая всю необходимость данного обучения ещё больше бросается в глаза тот факт, что большинство учебного оборудования такого как, детали механизмов и машин, станков и инструментов морально устарели, что идёт в разрез тем, что наблюдается в современном судоходстве. Нередки случаи, когда преподаватели не обладают актуальными сведениями о профессии или игнорируют нововведения и изменения в отрасли. Одной из главных причин данной проблемы является отсутствие молодых кадров в преподавательском составе. Преподавателями зачастую являются либо бывшие морские специалисты, по той или иной причине решившие не продолжать карьеру во флоте, либо люди, закончившие то же заведение, в котором и преподают. Первые имеют разнообразный практический опыт, но, к сожалению, с годами он теряет свою актуальность, у вторых его может и вовсе не быть. Также хочется отметить откровенное устаревание учебных пособий. В 2025 году курсант судомеханик учится по методическим материалам двадцатилетней давности. Кроме этого, способы обучения остаются неизменными на протяжении десятилетий. На конкретном примере можно отметить, что курсовой проект по дисциплине «Детали машин», выполняемый курсантами судомеханиками на третьем курсе выполняется по методическим пособиям изданными в 2013 году и 2002 году. Со слов старшего родственника одного из авторов статьи, закончившим ту же специальность в 1985 году, он выполнял этот курсовой по идентичной теме. Размышляя над этой проблемой, было бы уместно предложить преуспевающим курсантам старших курсов после прохождение индивидуальных плавательных практик писать отчёт не в требуемых университетом рамках, а используя свои наблюдения и опыт, полученные в процессе работы на судне. Таким образом, университет получит больше актуальных данных о работе того или иного типа судна. Помимо этого, мы можем предложить обновить технологическую базу, по средством приобретения новейших учебных инструментов. Для курсантов судоводителей это новые навигационные тренажеры отражающие передовые принципы управления судами. Для курсантов судомехаников это современные учебные макеты, которые будут совпадать с теми деталями и механизмами, что наиболее часто встречаются на действующем флоте. Наряду с вышеперечисленным необходимо разработка и введение новых учебных пособий, отвечающих нынешним тенденциям образования морских специалистов. Привлечение действующих молодых специалистов, подразумевающие приглашение их для проведения занятий, должно освежить процесс образования и ближе познакомить курсантов с будущей профессией

Список литературы:

1. Образование и общество: готова ли Россия инвестировать в свое будущее?: докл. Обществ. палаты РФ. Москва 2007 г. // Вопросы образования. -2007. -№ 4. -С. 5-102.
2. Диферов, А.П. Новая российская ментальность как инновационный ресурс модернизации образования / А.П. Диферов, О.Е. Воронова // Педагогика.-2007. -№2. -С. 12-23. EDN: KUBCJN
3. Новиков А.М. Принципы построения системы непрерывного профессионального образования // Педагогика. 1998. №3. С. 11-17. EDN: YPEDZB

4. Коробцов А.С. Качество инженерного образования: лозунги и реальность // Инженерное образование. - 2020 - № 27. - С. 27-36. EDN: RYDZZE
5. Александров А.А., Федоров И.Б., Медведев В.Е. Инженерное образование: проблемы и решения // Высшее образование в России. 2013. - № 6. - С. 3-8. EDN: RPQSUN
6. Вербицкий А.А. Личностный компетентностный подходы в образовании А. А. Вербицкий, О. Б. Ларионова М.: Логос, 2009. - 336 с.
7. Лентарев А.А. Компетентностный подход в подготовке моряков / Проблемы транспорта Дальнего Востока. Сборник научных трудов. Владивосток: ДВО РАТ, 2017. - С. 163-165.
8. Булыга Р.П., Амерсланова А.Н. Совершенствование системы контроля деятельности университетов в Российской Федерации // Учет. Анализ. Аудит. 2018. №6 EDN: YPTTFZ
9. Былков В. Г. Трансформация системы квалификаций на основе создания профессиональных стандартов / В. Г. Былков // Известия Байкальского государственного университета. - 2014. - № 1 (93). С. 67-73. EDN: RWCZCB
10. Балаба В. И. Что первично: профессиональные или образовательные стандарты? / В. И. Балаба // Альманах мировой науки. 2015. № 3-2 (3). - С. 49-50. EDN: VKIAJB
11. Загребельный, И. А. Кадровые проблемы морского транспорта и транспортной логистики в современных условиях / И. А. Загребельный // Актуальные решения проблем водного транспорта : Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, Астрахань, 28 апреля 2022 года. – Астрахань: Индивидуальный предприниматель Сорокин Роман Васильевич (Издатель: Сорокин Роман Васильевич), 2022. – С. 323-327. – EDN ENEZMW.
12. Лихачев, В. Г. Морские колледжи и морские вузы: аспекты взаимоотношений профессионального образования / В. Г. Лихачев // Среднее профессиональное образование. – 2020. – № 8(300). – С. 9-13. – EDN PUYIAP.
13. Бородина, Л. Н. К вопросу о подготовке отраслевых кадров в морских вузах на основе цифровизации образовательной среды / Л. Н. Бородина, Е. С. Клименко, А. Ю. Рыченкова // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 72-4. – С. 30-33. – DOI 10.18411/lj-04-2021-134. – EDN HETALD.
14. Актуальные вопросы качества морского образования : материалы 41-й Всероссийской научно-методической конференции с международным участием: в 2 т., Владивосток, 22–27 июня 2018 года. Том 2. – Владивосток: Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, 2018. – 131 с. – ISBN 978-5-8343-1107-2. – EDN UOWANK.
15. Дражан, Р. В. Перспективы цифровизации морского образования / Р. В. Дражан, Б. Г. Геворкян // Цифровизация экономики и общества: проблемы, перспективы, безопасность : Материалы III международной научно-практической конференции, Донецк, 25 марта 2021 года. – Донецк: Цифровая типография, 2021. – С. 30-34. – EDN QFRDCC.
16. Хекерт, Е. В. Российское морское образование в болонском процессе / Е. В. Хекерт, А. Л. Боран-Кешишьян // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 3(92). – С. 12-19. – DOI 10.34046/aumsuomt92/3. – EDN FRDUHS.
17. Лентарев, А. А. Анализ мировых систем подготовки моряков / А. А. Лентарев // Транспортное дело России. – 2020. – № 5. – С. 91-93. – EDN VYHWBJ.
18. Методологические детерминанты разработки модели формирования профессионально важных качеств курсантов морских вузов / М. И. Нарватов, С. М. Ахметов, А. Б. Борисов [и др.] // Физическая культура, спорт - наука и практика. – 2021. – № 1. – С. 3-8. – DOI 10.53742/1999-6799_2021_01_03. – EDN DDFABS.
19. Анализ тенденций подготовки высококвалифицированных кадров в интересах стратегического развития Арктической зоны РФ / К. С. Зайков, Н. А. Кондратов, Н. М. Куприков,

М. Ю. Куприков // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 125-140. – DOI 10.15838/esc.2021.1.73.9. – EDN QLPJWN.

20. Современные тенденции практической подготовки в морском образовании : Материалы V национальной научно-практической конференции, Керчь, 24–25 ноября 2023 года. – Керчь: Керченский государственный морской технологический университет, 2023. – 292 с. – ISBN 978-5-605-02665-5. – EDN CJDGSE.

Поступила в редакцию 24 ноября 2025 г.

**ВЕСТНИК
МОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Выпуск 101/ 2025

Дата выхода в свет – 29 декабря 2025 г.

Выходит четыре раза в год.

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору
в сфере связи и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-82589 от 30.12.2021.

Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Морской государственный университет
имени адмирала Г.И. Невельского».

Адрес учредителя, издателя и редакции: 690003, Россия, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а.
Электронная почта редакции: vestnik@msun.ru; телефон редакции: +7 (423) 251-76-36.