

УДК 629.12

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СИСТЕМ ЗАБОРТНОЙ ВОДЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В РАЙОНАХ РАЗЛИВА НЕФТИ

Мельник Владислав Дмитриевич¹, курсант

e-mail: vlad.melnik.145@gmail.com

Ухин Владимир Иванович¹, курсант

e-mail: invkerch@yandex.ru

Ивановская Александра Витальевна¹, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры судовых энергетических установок

e-mail: invkerch@yandex.ru

¹ Керченский государственный морской технологический университет, Керчь, республика Крым, Россия

Аннотация. В данной статье представлен анализ современных методов обработки систем заборной воды на морских судах при их эксплуатации в акваториях, загрязненных тяжелыми нефтепродуктами. Рассмотрены основные проблемы, возникающие при контакте систем заборной воды с разливами мазута, тяжелых сортов нефти и бункерного топлива. Проведена сравнительная оценка эффективности различных технологий фильтрации, сепарации и очистки заборной воды от нефтяных загрязнений. На основе анализа и опыта эксплуатации судов в загрязненных акваториях предложены рекомендации по комплексной защите систем заборной воды и оптимизации их работы в условиях нефтяного загрязнения.

Ключевые слова: заборная вода, системы охлаждения судов, тяжелые нефтепродукты, нефтяное загрязнение, фильтрация, сепарация, теплообменные аппараты.

ANALYSIS OF SEAWATER TREATMENT METHODS DURING OPERATION IN OIL SPILL AREAS

Vladislav D. Melnik¹, Cadet

e-mail: vlad.melnik.145@gmail.com

Vladimir I. Ukhin¹, Cadet

e-mail: invkerch@yandex.ru

Alexandra V. Ivanovskaya¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Marine Power Plants

e-mail: invkerch@yandex.ru

¹ Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Republic of Crimea, Russia

Abstract. This article presents an analysis of modern methods of processing seawater systems on sea vessels during their operation in waters polluted with heavy petroleum products. The main problems that arise when seawater systems come into contact with spills of fuel oil, heavy grades

of oil and bunker fuel are considered. A comparative assessment of the effectiveness of various technologies for filtration, separation and purification of seawater from oil pollution has been carried out. Based on the analysis and experience of operating vessels in polluted waters, recommendations are proposed for the comprehensive protection of seawater systems and optimization of their operation in conditions of oil pollution.

Keywords: seawater, ship cooling systems, heavy oil products, oil pollution, filtration, separation, heat exchangers.

Разливы тяжелых нефтепродуктов в морской среде представляют серьезную экологическую проблему и создают значительные технические трудности для эксплуатации морских судов. Особенно уязвимыми оказываются системы забортной воды, которые непосредственно контактируют с загрязненной акваторией. Тяжелые фракции нефти, включая мазут, бункерное топливо, тяжелую сырую нефть, обладают высокой вязкостью, адгезией к поверхностям и содержат значительное количество асфальтеновых и смолистых компонентов. При попадании в системы забортной воды эти вещества вызывают засорение фильтров, снижение эффективности теплообменников, повреждение насосов и другие негативные последствия, что может привести к нарушению работы энергетической установки судна и других критически важных систем.

Несмотря на наличие международных конвенций, регулирующих предотвращение загрязнения моря нефтью (МАРПОЛ 73/78), проблема разливов тяжелых нефтепродуктов остается актуальной. В этой связи разработка и совершенствование методов защиты судовых систем забортной воды от негативного воздействия нефтяных загрязнений приобретает особую значимость.

Целью данного исследования является комплексный анализ существующих и перспективных методов обработки систем забортной воды при эксплуатации судов в районах разлива тяжелых нефтепродуктов, а также разработка рекомендаций по повышению надежности работы этих систем в условиях нефтяного загрязнения.

К основным характеристикам, определяющим поведение тяжелых нефтепродуктов в морской среде и их воздействие на судовые системы, относятся высокие вязкость и плотность, адгезионные свойства, содержание асфальтенов и смол, эмульгирование нефти [1] (рис. 1).

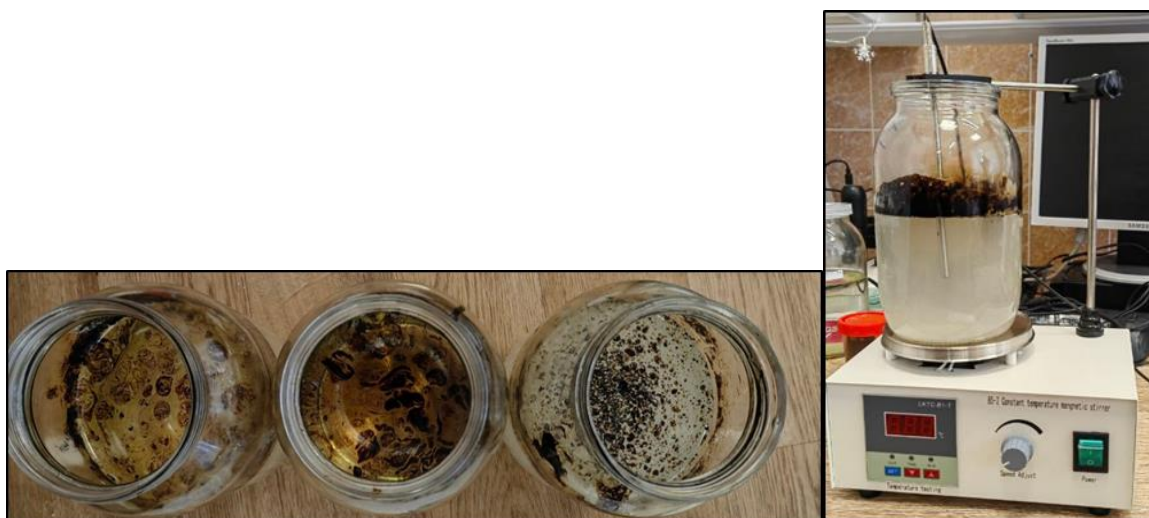


Рисунок 1 – Результаты экспериментальных исследований по коагуляции нефтепродуктов и созданию гидропотока в системе забортной воды

Системы забортной воды на судах выполняют множество критически важных функций, включая охлаждение главных и вспомогательных двигателей, конденсаторов паровых турбин, компрессоров, генераторов, а также обеспечение работы опреснительных установок, балластных систем и противопожарного оборудования [2]. Загрязнение забортной воды тяжелыми нефтепродуктами приводит к комплексу негативных последствий для этих систем:

1. *Засорение приемных решеток и фильтров грубой очистки.* Нефтепродукты, особенно в эмульгированном состоянии, формируют вязкие отложения на решетках кингстонных ящиков и сетках фильтров, что приводит к снижению пропускной способности и увеличению перепада давления в системе.

2. *Снижение эффективности теплообменных аппаратов.* Образование нефтяной пленки на поверхностях теплообмена приводит к ухудшению коэффициента теплопередачи на 30-60%. Отложения асфальтенов и смол имеют низкую теплопроводность (0,15-0,2 Вт/(м·К)) и действуют как теплоизоляционный слой, что особенно критично для пластинчатых теплообменников с малым зазором между пластинами.

3. *Повреждение насосного оборудования.* Тяжелые нефтепродукты вызывают повышенный износ подшипников, уплотнений и рабочих колес центробежных насосов. Вязкие компоненты нефти могут приводить к разбалансировке ротора и возникновению вибрации. Эмульсии типа «вода в нефти» способствуют кавитационным процессам, что дополнительно ускоряет износ деталей насосов.

4. *Загрязнение систем тонкой фильтрации и мембранных установок.* Особенно уязвимыми оказываются опреснительные установки обратного осмоса, где даже незначительные концентрации нефтепродуктов (более 0,5 мг/л) приводят к необратимому загрязнению полупроницаемых мембран.

5. *Коррозионные процессы.* Сернистые соединения, присутствующие в тяжелых нефтепродуктах, в сочетании с морской водой могут инициировать интенсивную электрохимическую коррозию металлических элементов системы. При этом локализация коррозионных поражений часто совпадает с местами отложения нефтяных фракций.

Первым барьером на пути нефтепродуктов в системы забортной воды являются устройства предварительной фильтрации и сепарации. Традиционные кингстонные ящики с решетками имеют ограниченную эффективность при работе в условиях нефтяного загрязнения. Перспективным решением является применение модифицированных конструкций с многоступенчатыми системами защиты:

- гидродинамические дефлекторы – устройства, создающие направленные потоки воды, отводящие поверхностную пленку нефтепродуктов от водозаборных отверстий.

- пневматические барьеры – системы, создающие воздушную завесу вокруг приемных отверстий, восходящие пузырьки воздуха формируют восходящий поток, препятствующий проникновению поверхностных загрязнений к водозабору.

- погружные водозаборы с регулируемой глубиной – системы, позволяющие изменять глубину забора воды в зависимости от распределения нефтепродуктов по вертикали, оснащенные датчиками углеводородов, такие системы автоматически устанавливают оптимальную глубину водозабора.

Следующим уровнем защиты являются фильтры-сепараторы, устанавливаемые после кингстонных ящиков:

- коалесцентные фильтры на основе олеофильных материалов (модифицированные полипропиленовые волокна, политетрафторэтиленовые мембраны) обеспечивают слияние мелких капель нефтепродуктов в более крупные, которые легче отделяются в гравитационных сепараторах;



- гидроциклонные сепараторы используют центробежные силы для отделения компонентов с различной плотностью, современные конструкции судовых гидроциклонов обеспечивают степень очистки от нефтепродуктов до 95% при производительности 100-500 м³/ч;

- комбинированные системы фильтрации с автоматической промывкой фильтрующих элементов позволяют сохранять эффективность работы в течение длительного времени без остановки для обслуживания.

Химические методы обработки забортной воды направлены на предотвращение адгезии нефтепродуктов к поверхностям теплообменников и трубопроводов, а также на разрушение устойчивых эмульсий.

Применение специальных ПАВ позволяет снизить поверхностное натяжение на границе «нефть-вода» и уменьшить адгезию нефтепродуктов к материалам системы. Исследования показывают, что обработка воды оптимизированными составами ПАВ в концентрации 5-10 мг/л снижает интенсивность образования нефтяных отложений в теплообменниках на 70-85%. При этом важно учитывать возможное влияние ПАВ на экологическую безопасность и использовать биоразлагаемые композиции.

Для защиты металлических поверхностей систем забортной воды от коррозии, вызванной сочетанием морской воды и нефтепродуктов, применяются специальные ингибиторы на основе азотсодержащих гетероциклических соединений, четвертичных аммониевых солей и фосфорорганических комплексов. Современные композиции обеспечивают формирование защитной пленки на металлических поверхностях и предотвращают электрохимическую коррозию.

Физические методы основаны на воздействии на загрязненную забортную воду физических полей различной природы.

Применение ультразвука частотой 20-100 кГц и интенсивностью 2-5 Вт/см² способствует диспергированию нефтяных загрязнений и разрушению устойчивых эмульсий. Кавитационные процессы, возникающие при распространении ультразвуковых волн в жидкости, создают локальные зоны высокого давления и температуры, что приводит к разрушению структуры нефтяных агрегатов.

Воздействие низкочастотного (50-1000 Гц) магнитного поля с индукцией 0,1-0,5 Тл на загрязненную нефтепродуктами воду приводит к изменению структуры водных ассоциатов и гидратных оболочек коллоидных частиц нефти. Это способствует дестабилизации эмульсий и снижению адгезии нефтепродуктов к поверхностям.

Метод электрокоагуляции основан на пропускании загрязненной воды через электролизер с растворимыми электродами (обычно из алюминия или железа). При прохождении электрического тока происходит анодное растворение металла с образованием катионов, которые формируют гидроксиды и оксигидроксиды, обладающие высокими сорбционными свойствами по отношению к нефтепродуктам.

Наиболее эффективным подходом к защите систем забортной воды является комплексное применение различных методов. Многоступенчатые системы, объединяющие механическую фильтрацию, коалесценцию и гидроциклонную сепарацию, обеспечивают последовательное удаление нефтепродуктов различной дисперсности. Автоматизированное управление такими системами с использованием датчиков загрязнения и перепада давления позволяет оптимизировать режимы работы в зависимости от уровня загрязнения забортной воды.

Сочетание химической обработки (введение ПАВ, деэмульгаторов) с физическими воздействиями (ультразвук, электромагнитное поле) позволяет достичь синергетического эффекта. Например, комбинация ультразвуковой обработки с дозированием неионогенных



ПАВ увеличивает эффективность удаления нефтепродуктов на 15-25% по сравнению с применением каждого метода по отдельности.

На основе проведенных исследований и анализа существующих технологий можно выделить следующие рекомендации по модернизации судовых систем забортной воды для повышения их надежности при эксплуатации в районах разлива тяжелых нефтепродуктов [3-5].

Технические рекомендации:

1. Модернизация кингстонных устройств:

- установка гидродинамических дефлекторов, отводящих поверхностную пленку нефтепродуктов;
- оснащение кингстонных ящиков системой пневматической защиты;
- внедрение системы автоматического регулирования глубины водозабора на основе данных о вертикальном распределении нефтепродуктов в воде.

2. Совершенствование систем фильтрации:

- замена стандартных сетчатых фильтров на автоматические самоочищающиеся фильтры с обратной промывкой;
- установка коалесцентных сепараторов после фильтров грубой очистки;
- внедрение систем непрерывного контроля перепада давления и автоматической регенерации фильтрующих элементов.

3. Оптимизация конструкции теплообменных аппаратов:

- применение материалов с низкой адгезией к нефтепродуктам (например, механоструктурированные алюмосиликаты);
- увеличение скорости потока в каналах теплообменников для создания турбулентного режима, препятствующего отложению загрязнений;
- внедрение систем автоматической очистки теплообменных поверхностей (механические скребки, пульсационные устройства).

4. Комплексная химико-физическая обработка забортной воды:

- установка дозирующих станций для введения комплексных реагентов (ПАВ, деэмульгаторы, ингибиторы коррозии, механоструктурированные алюмосиликаты);
- монтаж ультразвуковых генераторов на ключевых участках системы;
- применение электромагнитных устройств для обработки воды перед теплообменниками.

5. Внедрение систем мониторинга и управления:

- установка датчиков концентрации нефтепродуктов в ключевых точках системы;
- оснащение системы датчиками термического сопротивления загрязнений на теплообменных поверхностях;
- внедрение интеллектуальных систем управления с алгоритмами прогнозирования загрязнения на основе нейронных сетей.

Организационно-технические рекомендации:

1. Разработка специальных режимов эксплуатации:

- введение в судовой регламент специальных процедур при входе судна в акваторию с нефтяным загрязнением;
- корректировка режимов работы энергетической установки для минимизации воздействия загрязнений на критические системы;
- оптимизация маршрутов движения судна с учетом данных о распространении нефтяного пятна.

2. Профессиональная подготовка персонала:

- обучение экипажа методам выявления и оценки степени загрязнения систем забортной воды;



- тренинги по эксплуатации современных систем защиты и очистки;
- проведение учений по действиям экипажа при работе в условиях сильного загрязнения акватории.

3. Совершенствование технического обслуживания:

- увеличение частоты контрольных осмотров систем заборной воды при работе в загрязненных акваториях;
- внедрение методов неразрушающего контроля для оценки состояния теплообменных поверхностей;
- разработка оптимальных графиков профилактической очистки с учетом данных мониторинга.

Заключение

Проведенное исследование показало, что разливы тяжелых нефтепродуктов представляют серьезную угрозу для надежного функционирования систем заборной воды морских судов. Наиболее эффективным подходом к решению данной проблемы является комплексная защита, объединяющая современные методы механической фильтрации, химической обработки и физических воздействий.

Предложенные рекомендации по модернизации судовых систем заборной воды направлены на повышение их надежности и эффективности при эксплуатации в районах разлива тяжелых нефтепродуктов. Внедрение технических и организационных мероприятий позволит обеспечить бесперебойную работу судовых энергетических установок и других критически важных систем в условиях загрязнения акваторий.

Дальнейшие исследования в данной области целесообразно направить на разработку новых материалов с низкой адгезией к нефтепродуктам, совершенствование методов мониторинга загрязнений и создание более эффективных технологий очистки заборной воды

Список литературы:

1. ГОСТ 10585-2013. Топливо нефтяное. Мазут. Москва: Стандартинформ, 2014. – 14с.
2. Тихомиров Г. И. Технологии обработки воды на морских судах. Курс лекций: Учеб. пособие для курсантов и студентов морских специальностей. – Владивосток.: Мор. гос. ун-т, 2013. – 159 с.
3. Мельник, В. Д. Эксперимент по исследованию применения энергента для защиты судовых систем от биокоррозии / В. Д. Мельник, В. И. Ухин // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли : материалы Национальной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Владивосток, 28–29 ноября 2024 года. – Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2025. – С. 371-376. – EDN TXZQKZ.
4. Перков, И. Е. Ингибиторные комплексы для систем охлаждения дизелей, их недостатки и новый подход к проблеме / И. Е. Перков // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. Серия: Морские технологии. – 2023. – № 2. – С. 104-111. – EDN CPPMPH.
5. Применение отечественных природоподобных технологий для повышения ресурса и надежности судового оборудования и конструкций, контактирующих с жидкостью / М. Н. Торопов, Ф. В. Сапожников, Н. В. Васильев [и др.] // Развитие энергетики водного транспорта, информационных и энергосберегающих технологий : сборник материалов I Всероссийской конференции, Астрахань, 12–13 декабря 2023 года. – Астрахань: Волжский государственный университет водного транспорта, 2023. – С. 146-153. – EDN UOUXZG.

