*На правах рукописи*

Каляуш Александр Иванович

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СУДОВ И ИХ СЭУ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩЕЙ ПОДСЛАНЕВОЙ ВОДЫ**

**Специальность 05.08.05 —Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2016

2

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,

Решняк Валерий Иванович

Официальные оппоненты: Курников Александр Серафимович доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ

ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», заведующий кафедрой технологии конструкционных материалов и машиноремонта

Макарова Елена Игоревна

доктор технических наук, доцент

ФГБОУ ВО ПГУПС «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», декан факультета безотрывных форм обучения

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова»

Защита состоится «07» декабря 2016 г. в 15-00 ч. на заседании диссертационного совета Д223.009.04 при ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова» по адресу: 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, д. 5/7, ауд. 235а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова»:

http://gumrf.ru/naudejat/gna/dissov\_22300904/zd22300904

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2016 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета В. А. Жуков

3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Как известно, эксплуатация судов и их СЭУ характеризуется рядом факторов загрязнения окружающей среды. Одним из них являются нефтепродукты, которые содержатся в нефтесодержащей подсланевой воде (НПВ). В настоящее время уже накоплен определенный опыт в области предотвращения загрязнения водоемов НПВ. Этот опыт нашел отражение в создании и эксплуатации судовых установок для ее очистки, которые применяются, в основном, на морских судах, в том числе на судах река–море плавания. В то же время, известно, что очистка НПВ в судовых установках является не единственным способом предотвращения загрязнения подсланевой водой. Обеспечение экологической безопасности СЭУ может быть осуществлено путем очистки подсланевой воды на специализированных судах, в состав СЭУ которых входят очистные комплексы. На судах внутреннего плавания в силу таких объективных причин как отсутствие достаточного места в машинном отделении судов или иные, чем для судовых установок, требования по степени очистки воды, а также дороговизна судовых установок, более целесообразной является очистка НПВ на упомянутых специализированных судах.

Определенный опыт решения проблемы обеспечения экологической безопасности судов и их СЭУ с помощью специализированных судов существует. В настоящее время применяются плавучие очистные станции, а также суда для комплексной переработки судовых отходов (СКПО). Однако очистное оборудование таких специализированных судов рассчитано на постоянное значение концентрации нефтепродуктов в очищенной подсланевой воде — 5 мг/л, что не позволяет применять их на тех участках водных путей, где, в соответствии с требованиями природоохранного законодательства, условия водоотведения требуют более глубокой очистки НПВ. Более глубокая очистка может быть обеспечена применением дополнительных очистных устройств, например, таких, как устройство для очистки озонированием. Такой способ очистки НПВ является достаточно эффективным, но требует применения генератора озона. Существующие генераторы озона имеют характеристики, которые затрудняют их широкое применение на специализированных судах для очистки НПВ.

Таким образом, возникает необходимость разработки технологии очистки НПВ в условиях, когда требования к степени очистки могут меняться в зависимости от района водных путей. Базовый вариант такой технологии должен включать способ очистки от эмульгированных нефтепродуктов адсорбцию, эффективность которой должна быть подтверждена экспериментально. Экспериментальные исследования адсорбции должны также стать основой для разработки зависимостей, которые позволяют рассчитывать процесс очистки адсорбцией и адсорбционные фильтры, что, в свою очередь, позволит при необходимости легко менять комплектацию

4

очистных комплексов специализированных судов для достижения требуемой в конкретном случае степени очистки.

Кроме того, для реализации предложенной технологии необходимо разработать способ и устройство для очистки НПВ озонированием при использовании ультрафиолетовых излучателей как источников озона и провести экспериментальные исследования эффективности такого устройства и особенностей процесса очистки озонированием. Упомянутый способ и устройство для озонирования НПВ значительно дешевле, чем применение генераторов озона, и более простой в эксплуатации.

Учитывая разные условия эксплуатации специализированных судов, в том числе и уже упомянутые меняющиеся требования к водоотведению очищенной подсланевой воды, представляется целесообразной разработка различных типов специализированных судов с различным оснащением их СЭУ очистным оборудованием, что обеспечит комплектование оптимального для конкретных условий эксплуатации набора специализированных судов для очистки НПВ.

В своих исследованиях автор диссертации опирался на труды специалистов в области охраны окружающей среды на водном транспорте: С. П. Зубрилова, В. А. Бараца, В. А. Жигульского, В. С. Наумова, А. С. Курникова, Д. С. Мизгирева, В. И. Решняка, В. Л. Энтина, Н. В. Растрыгина, А. Л. Кульского и др.

Таким образом, тему диссертационной работы, направленной на обеспечение охраны окружающей среды при эксплуатации судов и их СЭУ путем использования специализированных судов, в состав энергетических установок которых входят очистные устройства, разработанные на основе технологии очистки, обеспечивающей требуемую очистку НПВ с учетом конкретных условий водоотведения очищенной подсланевой воды на разных участках водных путей, следует считать актуальной.

*Цель и задачи работы.* Целью работы является обеспечение экологической безопасности СЭУ путем разработки технологии очистки нефтесодержащей подсланевой воды, а также очистных устройств для комплектования СЭУ специализированных судов для очистки НПВ с учетом условий водоотведения судов на разных участках водных путей.

*Достижение указанной цели обеспечивается решением следующих задач:*

– разработать технологию очистки НПВ с применением адсорбции и озонирования как способов глубокой очистки от эмульгированных нефтепродуктов, которые обеспечивают выполнение требуемой для конкретного участка водных путей степени очистки;

– разработать устройство для очистки нефтесодержащей воды озоном, получаемым от ультрафиолетового излучателя;

– выполнить экспериментальные исследования процессов очистки НПВ адсорбцией, по результатам которых составить зависимости для расчета адсорбционных фильтров;

5

– экспериментально определить эффективность очистки НПВ озонированием при использовании устройства с ультрафиолетовым излучателем;

– разработать комплекс специализированных судов и их СЭУ, предназначенных для очистки НПВ;

– разработать схемы комплектования и компоновки очистным оборудованием как элементами СЭУ специализированных судов для очистки НПВ;

– разработать рекомендации по комплектованию СЭУ специализированных судов для очистки НПВ с учетом условий эксплуатации судов на разных участках водных путей.

*Научная новизна заключается в следующем:*

1) предложена и научно обоснована технология глубокой очистки НПВ с применением адсорбции и озонирования при получении озона от ультрафиолетового излучателя;

2) разработано устройство процесса очистки НПВ озонированием при получении озона от ультрафиолетового излучателя, новизна которого подтверждена положительным решением № 164318 от 09.03.2016. Опубл. 27.08.2016. Бюл. № 24. «Судовое устройство очистки нефтесодержащей воды озоном»;

3) разработаны зависимости для расчета адсорбционных фильтров;

4) предложены схемы комплектования очистным оборудованием судовых энергетических установок специализированных судов для очистки НПВ;

5) разработаны рекомендации по компоновке комплексов специализированных судов, учитывающих условия их эксплуатации на разных участках водных путей.

*Теоретическая значимость* результатов диссертационной работы заключается в разработке теоретических основ технологии глубокой очистки НПВ с использованием адсорбции и озонирования при получении озона от УФ-излучателя.

Получены зависимости изменения концентрации нефтепродуктов при озонировании и при очистке НПВ в адсорбционных фильтрах, которые могут быть использованы при проектировании очистного оборудования для комплектования СЭУ специализированных судов, предназначенных для очистки НПВ.

Кроме того, разработаны рекомендации по выбору схем комплектования и компоновки судовых энергетических установок специализированных судов оборудованием для очистки НПВ.

*Практическая значимость работы:*

– результаты выполненных экспериментальных исследований процессов очистки НПВ и полученные расчетные зависимости могут быть использованы при проектировании устройств для очистки НПВ;

6

– разработана технология очистки НПВ, которая может быть реализована в очистном оборудовании для оснащения СЭУ специализированных судов для очистки НПВ и которая обеспечивает удовлетворение требований к водоотведению на внутренних водных путях;

– разработано устройство для озонирования очищаемой воды при получении озона от УФ-излучателя;

– разработаны типы специализированных судов, отличающиеся комплектованием их судовых энергетических установок оборудованием для очистки НПВ, а также рекомендации по компоновке комплексов специализированных судов, обслуживающих определенные участки водных путей и учитывающих особенности эксплуатации специализированных судов на этих участках.

*Методология и методы исследования.* Методологической и информационной основой диссертационного исследования являются труды отечественных и зарубежных авторов по вопросам, связанным с очисткой НПВ, современные природоохранные требования, совокупность общенаучных и специальных методов научного познания. Для достижения поставленной цели диссертационного исследования и решения поставленных задач автором использовались элементы системного анализа, экспериментальные исследования в лабораторных условиях, применены статистические методы.

*Положения, выносимые на защиту:*

- технология глубокой очистки НПВ с применением адсорбции и озонирования при получении озона от ультрафиолетового излучателя;

- зависимости для расчета адсорбционных фильтров и алгоритм расчета;

- схемы комплектования энергетических установок специализированных судов очистным оборудованием;

- методику формирования комплексов специализированных судов, учитывающих условия их эксплуатации на разных участках водных путей;

- результаты экспериментальных исследований процессов очистки нефтесодержащей подсланевой воды;

- устройство для очистки нефтесодержащей подсланевой воды озонированием.

*Степень достоверности результатов.* Достоверность полученных научных результатов обеспечена использованием общепринятых, апробированных и законодательно рекомендованных методик и методов проведения исследований, подтверждена удовлетворительной сходимостью экспериментальных данных с теоретическими исследованиями и результатами исследования других авторов. Экспериментальные исследования были проведены в специализированных лабораториях Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова.

*Основные положения и результаты диссертационной работы доложены:*

7

– на межвузовской научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной 200-летию транспортного образования в России, «Водный транспорт России: история и современность», 2009 г.;

– на научно-практических конференциях «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России», 2013 – 2016 гг.;

– на международном молодежном научном экологическом форуме стран Балтийского региона «Экобалтика», 2013, 2015 гг.;

– на международной научно-практической конференции «Вода — бесценное наследие», 2016 г.;

– на конкурсе на лучшую научно-техническую разработку молодых специалистов и работников ОАО «РПК-Высоцк ЛУКОЙЛ-II» (третье место), 2016 г.

Результаты диссертационных исследований представлены в десяти научных трудах, в том числе в трех статьях в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, одном патенте на полезную модель. По результату научной работы получен патент на полезную модель, а также имеется акт использования результатов в деятельности судоходных компаний ООО «БАРК», ООО «Гранд канал», ООО «Нева Тревел Компани».

*Личный вклад.* Автор диссертации самостоятельно решил все поставленные задачи: разработал технологию очистки НПВ, которая может быть реализована в СЭУ специализированных судов для очистки НПВ с учетом условий водоотведения на отдельных участках водных путей; разработал устройство для очистки подсланевой воды озонированием с ультрафиолетовым излучателем и экспериментально проверил эффективность предложенного устройства; на основе экспериментальных данных составил зависимости для расчета адсорбционных фильтров; разработал технические предложения по ряду специализированных судов для очистки НПВ, а также разработал рекомендации по компоновке и комплектованию специализированных судов очистным оборудованием с учетом условий их эксплуатации.

*Структура и объем работы.* Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем — 157 с., 87 рисунков, 3 таблицы, список литературы включает 117 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* дана оценка актуальности проблемы предотвращения загрязнения водной среды нефтесодержащей подсланевой водой, которая образуется в результате эксплуатации СЭУ. Сформулированы цели и задачи диссертационной работы, представлены научная новизна и практическая значимость работы.

В *первой главе* выполнен анализ процесса образования нефтесодержащей подсланевой воды при эксплуатации СЭУ. Образование нефтесодержащей подсланевой воды на современном этапе развития технологий и материалов остается обстоятельством неизбежным, хотя и

8

меняющим свой характер. Подсланевая вода образуется в результате протечек в системах, протечек в корпусе судна, через дейдвудные устройства. Показано, что нефтепродукты в подсланевой воде могут находиться в двух состояниях: в виде пленки или слоя и в эмульгированном состоянии. Указанное обстоятельство оказывает определяющее влияние на выбор и обоснование технологии очистки судовой нефтесодержащей подсланевой воды.

Появление той части нефтепродуктов, которые находятся в виде слоя, зависит, в основном, от таких возможных эксплуатационных ситуаций как аварийная их протечка, а образование эмульгированных нефтепродуктов определяется условиями хранения и наличием других загрязнений в подсланевой воде. Результаты исследования процесса образования подсланевой воды показывают также, что количество эмульгированных нефтепродуктов в подсланевой воде превосходит требуемую степень очистки, что является еще одним обстоятельством, которое необходимо учитывать при выборе и обосновании технологии очистки воды.

Анализ природоохранных требований, выполненный в первой главе, показал, что условия водоотведения очищенной НПВ, которые определяют значение требуемой степени очистки НПВ, могут быть разными для разных участков водных путей. В то же время выполненный анализ существующего судового оборудования (судовых установок, плавучих очистных станций) показывает, что эти технические средства ориентированы на фиксированное значение степени очистки: соответственно 10 – 15 мг/л и 5 мг/л. Кроме того, опыт эксплуатации существующего очистного оборудования показывает, что это оборудование не всегда надежно обеспечивает требуемую очистку.

Анализ возможных путей решения исследуемой проблемы при эксплуатации судов на внутренних водных путях показал, что одним из наиболее целесообразных способов очистки подсланевой воды является применение специализированных судов, СЭУ которых оснащены очистным оборудованием. Однако развитие и применение такого способа решения проблемы охраны окружающей среды при эксплуатации судов и их СЭУ на внутренних водных путях требует теоретических и экспериментальных исследований в части разработки технологии очистки НПВ с учетом различных условий водоотведения очищенной воды, когда требуемое качество очистки НПВ как основной параметр, характеризующий работу очистного оборудования, может принимать разные значения. Кроме того, необходимо разработать устройство для очистки озонированием с применением в качестве источника озона ультрафиолетового излучателя, схемы комплектования и компоновки очистным оборудованием судовых энергетических установок специализированных судов для очистки НПВ, а также на основе экспериментальных исследований разработать зависимости, описывающие процессы адсорбции и озонирования, которые позволяют конструирование очистных устройств с разной производительностью очистки

9

седиментация

адсорбция

абсорбция

**подача НПВ на очистку**

**очищенная НПВ**

НПВ и разной степенью очистки. Изложенное определило содержание исследований, результаты которых представлены в настоящей диссертации.

Во *второй главе* представлен анализ применяемых в судовых установках и других устройствах для очистки подсланевой воды технологических схем очистки, который показал отсутствие единого подхода к разработке и обоснованию технологии очистки подсланевой воды. Начало формирования такого подхода в области очистки сточной воды было положено А. Л. Кульским. Теоретические основы технологии очистки и кондиционирования воды, разработанные А. Л. Кульским, основывались на постулате о том, что каждому состоянию загрязнений в воде соответствует свой способ очистки. Развитие этого принципа в области очистки нефтесодержащей воды было осуществлено в работах В. И. Решняка. Вклад в решение исследуемых проблем был внесен А. С. Курниковым и его учениками: С. П. Зубриловым и Н. В. Растрыгиным. Автор настоящей работы дополнил упомянутые достижения теоретическими и экспериментальными исследованиями возможности применения озонирования с использованием ультрафиолетовых источников излучения и адсорбции для очистки подсланевой воды от эмульгированных нефтепродуктов.

Сформулированы основные факторы, определяющие выбор технологии очистки, а также основные требования к технологии очистки подсланевой воды, которая реализуется в очистных комплексах специализированных судов для очистки НПВ в условиях меняющихся требований к качеству очищенной воды. Результаты теоретических исследований по обоснованию и выбору технологии очистки подсланевой воды в очистных комплексах специализированных судов позволили предложить базовые варианты такой технологии.

Базовая технология, которая показана на рис. 1, обеспечивает очистку нефтесодержащей воды до остаточного содержания нефтепродуктов 1 – 5 мг/л и предусматривает:

– абсорбцию как способ очистки нефтесодержащей воды от нефтепродуктов, содержащихся в очищаемой воде в виде отдельной фазы — слоя или пленки;

– седиментацию как способ очистки НПВ от нефтепродуктов, которые находятся в НПВ в виде крупных частиц;

– адсорбцию как способ очистки от эмульгированных нефтепродуктов.

Рисунок 1 - Базовая технология очистки НПВ

10

озонирование

адсорбция

фильтрование

**подача НПВ на очистку**

**очищенная НПВ**

седиментация

Для случаев, когда требуется более глубокая очистка или обеззараживание очищаемой воды, предложена другая базовая технология, которая дополнительно предусматривает очистку озонированием и фильтрование (рис. 2). Такая технология обеспечивает очистку до остаточного содержания нефтепродуктов в очищенной воде 0,1 – 0,5 мг/л.

Рисунок 2 - Технология глубокой очистки нефтесодержащей воды с применением озонирования

Озонирование предусматривает применение источников ультрафиолетового излучения и может быть реализовано в разных вариантах конструкции очистного оборудования. При этом в диссертации предложены такие варианты конструкции, которыми без существенных затрат времени и усилий, а также без изменений конструкции специализированных судов и их СЭУ могут быть доукомплектованы очистные комплексы специализированных судов.

*Третья глава* настоящей диссертационной работы посвящена исследованию процесса очистки НПВ адсорбцией и включает в себя теоретическую и экспериментальную части.

Теоретические исследования процесса очистки воды в адсорбционных фильтрах основаны на изучении свойств выходной кривой (рис. 3), которая является наиболее информативной технологической характеристикой работы адсорбционного фильтра.

Рисунок 3 - Анализ свойств выходной кривой адсорбционного фильтра:

L1, L2- выходные кривые, показывающие изменение концентрации нефтепродуктов в очищаемой воде в определенной точке адсорбционного слоя; h - высота слоя адсорбционной загрузки

11

Выходная кривая показывает, как меняется концентрация нефтепродуктов в очищаемой воде в определенной точке адсорбционного слоя. Например, линия *L*1 показывает изменение концентрации нефтепродуктов в точке *1*. Получение выходных кривых в двух точках — *1* и *2* — позволяют определить еще одну характеристику работы адсорбционного фильтра —скорость *w* перемещения выходной кривой:

*thw*Δ=

В свою очередь, скорость перемещения выходной кривой позволяет рассчитывать высоту адсорбционного слоя при заданном времени защитного действия адсорбционной загрузки фильтра *tp*.

Теоретический анализ свойств выходной кривой показал ее симметричность, что позволило разработать методику экспериментального получения выходных кривых адсорбционного фильтра при минимальном количестве проб очищаемой воды.

На основании предложенной методики был разработан и смонтирован лабораторный стенд, для проведения эксперимента по очистке нефтесодержащей подсланевой воды от эмульгированных нефтепродуктов с применением адсорбционных фильтров, который представлен на рис. 4.

Рисунок 4 - Принципиальная схема лабораторного стенда

для исследования адсорбционных фильтров:

*1* — емкость для подготовки концентрированной нефтесодержащей воды; *2* — запорно-проходная арматура; *3* — трубопроводы; *4* — фиксаторы-крепеж адсорбционных фильтров (штативы); *5* — адсорбционные фильтры; *6* —емкость с подготовленной нефтесодержащей водой; *7* — лабораторная канализация

Экспериментально полученные выходные кривые показаны на рисунок 5. На основании анализа выходных кривых был определен вид зависимости, отражающей изменение концентрации *С*(*t*) нефтепродуктов на выходе из фильтра во времени *t* в зависимости от начальной концентрации *С*0, параметра *а*, характеризующего поглотительную способность адсорбционного материала, и скорости *v* движения очищаемой воды в фильтре:

12

*vtaеСtС*−+=1)(0

Такая зависимость позволяет рассчитывать основные параметры конструкции адсорбционных фильтров — общую длину адсорбционного слоя (высота одного фильтра и количество фильтров в очистном комплексе) и диаметр адсорбционного фильтра в зависимости от требований к степени очистки, определяемой условиями водоотведения очищенной подсланевой воды, которые действуют в рассматриваемом районе применения специализированных судов.

Рисунок 5 - Экспериментальные выходные кривые адсорбционного фильтра: а) схема отбора проб; б) выходные кривые Свых = f(t)

Моделирование работы фильтра с использованием полученной зависимости позволили получить ряд характеристик (рис. 6 и 7) работы адсорбционного фильтра, которые могут быть использованы при проектировании очистных комплексов специализированных судов.

Рисунок 6 - Расчетные характеристики (выходные кривые) работы фильтра при разных значениях скорости (v) движения очищаемой воды (tрi — время защитного действия фильтра)

13

Рисунок 7 - Расчетные характеристики работы фильтра при разных значениях адсорбционной способности (а) загрузки фильтра (tрi — время защитного действия фильтра)

Теоретические и экспериментальные исследования работы адсорбционных фильтров подтвердили возможность их применения в очистных комплексах специализированных судов.

Разработан алгоритм расчета адсорбционных фильтров для очистных комплексов специализированных судов, учитывающий переменные требования к требуемому качеству очистки НПВ.

*Четвертая глава* посвящена исследованию процесса очистки НПВ озонированием. Глава включает в себя теоретические исследования особенностей процесса очистки НПВ озонированием и экспериментальные исследования. Основной особенностью процесса озонирования НПВ является то, что нефтепродукты в очищаемой воде находятся в эмульгированном состоянии. Кроме того, необходимо было экспериментально определить эффективность процесса очистки при его получении предложенным автором настоящей работы способом —с помощью ультрафиолетового излучателя.

Теоретически показано, что эффективность очистки НВ озонированием зависит от концентрации частиц эмульгированных нефтепродуктов как центров их контакта с озоном и концентрации озона. Концентрация частиц эмульгированных нефтепродуктов, в свою очередь, зависит от степени их дисперсности. Уменьшение размеров частиц нефтепродуктов при неизменном содержании нефтепродуктов в очищаемой воде одновременно снижает расстояние и время до наступления контакта озона с нефтепродуктами, что также повышает эффективность очистки озонированием. Концентрация озона в очищаемой воде зависит от условий растворения озона в воде, т. е. условий перехода озона из озоно-воздушной смеси в воду. К основным таким условиям относятся температура очищаемой воды и давление, площадь

14

раздела сред «озоно-воздушная смесь – вода» и время контакта пузырьков озоно-воздушной смеси, а также скорость распада озона в воде. Исследована роль этих факторов на эффективность процесса очистки НПВ озонированием.

В целом указанные факторы оказывают влияние на изменение концентрации озона в очищаемой воде (рис. 8).

Рисунок 8 - Изменение концентрации озона в очищаемой воде:

Соз – концентрация озона в очищаемой НПВ

Теоретические исследования процесса очистки НПВ озонированием позволили разработать рекомендации по осуществлению этого процесса. В частности, показано, что наиболее эффективно процесс очистки происходит, когда содержание озона изменяется в соответствии с кривыми *1* и *2*. При более высоких концентрациях нефтепродуктов может возникать ситуация, когда весь поступающий озон расходуется на процессы окисления и распада и тогда его концентрация в воде в некоторый момент времени становится равной нулю (кривая *3*).

Экспериментальные исследования проводились на разработанном лабораторном стенде, принципиальная схема которого показана на рис. 9. Лабораторный стенд состоит из закрытого резервуара 1, в котором происходит озонирование очищаемой воды, генератора озона 2, выполненного в виде ультрафиолетовых ламп, распылителя озоновоздушной смеси с вертикальной трубкой 4, верхний конец которой выступает над уровнем воды, блока управления 5, компрессора 6 для подачи атмосферного воздуха в резервуар 1, управляемых клапанов 7 запорно-регулируемых трубопроводов 8, предохранительного клапана 9, датчика уровня 10.

15

Рисунок 9 - Принципиальная схема лабораторного стенда

для исследования процесса очистки НПВ озонированием

Результаты экспериментальных исследований подтвердили механизм очистки нефтесодержащей воды озонированием, при котором происходит не полное разрушение частиц нефтепродуктов, а окисление их поверхности с последующей коагуляцией таких частиц в хлопьевидную массу. На рис. 10, а также на фотографии (рис. 11) показан процесс образования скоагулированой массы нефтепродуктов.

Рисунок 10 - Механизм очистки НПВ озонированием

16

Рисунок 11 - Процесс очистки НПВ озонированием

Результаты изменения концентрации эмульгированных нефтепродуктов в очищаемой воде представлены на рис. 12.

Рисунок 12 - Экспериментально полученная зависимость

изменения концентрации нефтепродуктов

в процессе очистки НПВ озонированием

Результаты экспериментальных исследований одновременно подтвердили возможность применения ультрафиолетовых излучателей в качестве источников озона для организации процесса очистки НПВ озонированием.

По результатам экспериментальных исследований процесса очистки нефтесодержащей воды озонированием получена зависимость изменения концентрации нефтепродуктов во времени *С*(*t*):

17

*С* = *C*нач *е-b/t*,

где *С*нач — начальная концентрация нефтепродуктов в очищаемой воде; *b* — параметр, который характеризует условия организации процесса озонирования и определяется экспериментально.

Полученная зависимость может быть использована при расчете очистных устройств при конструировании очистных комплексов для специализированных судов для очистки НПВ.

*В пятой главе* разработаны типы специализированных судов для очистки НПВ. Разработанные типы специализированных судов отличаются комплектованием СЭУ этих судов очистным оборудованием в зависимости от условий эксплуатации специализированных судов и способа их обслуживания. В свою очередь, условия эксплуатации были сформулированы на основе анализа факторов, которые определяют эффективность применения специализированных судов для очистки НПВ. Основными такими факторами предложено считать:

– обеспечение удобной и безопасной для движения (эксплуатации) судов и выполняемой в возможно короткое время передачи с судов накопившейся подсланевой воды;

– обеспечение минимальных затрат на очистку НПВ с помощью специализированных судов;

– обеспечение требуемой очистки НПВ в зависимости от условий водоотведения в районе эксплуатации специализированных судов для очистки НПВ.

Основные типы специализированных судов показаны на рис. 13.

Рисунок 13 - Типы плавучих очистных сооружений

18

Разработка типов специализированных судов опиралась также на разработанный в диссертации «принцип разнесенной технологии очистки», который предполагает размещение очистного оборудования, входящего в состав общей технологии очистки НПВ, на разных специализированных судах, совместная эксплуатация которых в целом обеспечивает требуемую очистку подсланевой воды. На рис. 14 представлен разработанный план размещения очистного оборудования НПВ в МО специализированного судна.

Рисунок 14 - План расположения очистного оборудования

в МО специализированного судна

В центре машинного отделения (МО) номером *1* обозначен главный двигатель, вырабатывающий мощность и передающий ее валопроводу — *2*. По левому борту расположен блок обслуживания главного двигателя и общесудовых механизмов, включающий следующие оборудование и узлы: *3* — функциональный блок топливоперекачивающих насосов; *4* — первый блок адсорбционных фильтров для очистки НПВ; *5* — блок сепарации трюмных вод, *6* — блок общесудовых насосов: балластных, охлаждающих и пожарных; По правому борту расположен блок вспомогательного оборудования систем СЭУ, включающий следующие оборудование: *7* — второй блок адсорбционных фильтров для очистки НПВ; *8* — блок насосов и холодильников пресной воды; *9* — блок маслоохладителей; *10* — блок главных насосов циркуляционной смазки ГД; *11* — блок топливоподкачивающих насосов.

Для выбора и обоснования различных схем компоновки комплекса специализированных судов и их СЭУ в диссертации была разработана и предложена матрица технологии перемещения и очистки нефтесодержащей подсланевой воды, которая позволяет разрабатывать для каждого участка водных путей свой оптимальный комплекс специализированных судов и их СЭУ для очистки НПВ. Форма матрицы показана в таблице. В матрице

19

***N1***

***P1***

***N2***

***Pj***

***Ni***

***S12***

***S22***

***S11***

***Si*1**

***Sij***

***S*1*j***

***S1***

***S*1*j***

***Si*2**

***P*2**

перечислены все возможные операции с НПВ и способы их выполнения (в таблице большими буквами A, B обозначены операции, а цифрами обозначены способы их выполнения), а также типы специализированных судов, обеспечивающих указанный способ выполнения. Такая матрица позволяет из всех возможных способов выполнения различных операций с подсланевой водой выбрать наиболее эффективные для рассматриваемых условий эксплуатации специализированных судов для очистки НПВ.

|  |  |
| --- | --- |
| Таблица - Форма матрицы технологии перемещения НПВ Перечень и содержание операций | Комплекс специализированных судов |
| А) суда основного функционального назначения | В) вспомогательные суда |
| 1) | |
| 2) | |