

На правах рукописи

ЖИГУЛЬСКИЙ
ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ
НЕФТЕВОДЯНОЙ СМЕСИ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ
РАЗЛИВОВ

Специальность 25.00.36 - Геоэкология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2007

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном
университете водных коммуникаций
на кафедре «Химии и экологии»

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Решняк Валерий Иванович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Альхименко Александр Иванович
кандидат технических наук
Березин Игорь Константинович

Ведущая организация:

Центральный научно-исследовательский
институт морского флота (ЦНИИМФ)

Защита состоится «___»_____ 2007 года в 16 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.229.17 при ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный политехнический университет» по адресу: 195251, г.
Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, гидрокорпус 2, ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке
ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический
университет».

Автореферат разослан «___»_____ 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Орлов В. Т.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Одной из наиболее актуальных геоэкологических проблем является обеспечение экологической безопасности при организации процесса транспортировки и перегрузки нефти и нефтепродуктов. Россия занимает одно из ведущих мест в мире по объему экспорта нефти. В 2004 году экспорт России морским транспортом составил 198 млн. тонн нефти и нефтепродуктов.

Анализ данных о перемещаемых в России и во всем мире объемах нефти и нефтепродуктов показывает, что аварийные их разливы могут наносить значительный экологический ущерб.

Настоящими исследованиями установлено, что при ликвидации аварийных разливов с поверхности воды извлекается сложная смесь воды и нефтепродуктов, которая требует дальнейшей ее переработки по определенным технологиям.

Проблеме обеспечения экологической безопасности при транспортировке и перегрузке нефти и нефтепродуктов посвящены работы Альхименко А. И., Айбулатова Н. А., Fay J. A., Buckmaster I., Семанова Г. Н., Крупнова О. Р., Березина И. К. Гиргидова А.А. и др. В этих работах исследованы методы прогнозирования частоты и объемов аварийных разливов, процессы движения пятна разлива, в том числе в условиях разного состояния поверхности водного объекта. Таким образом, в настоящее время возникает необходимость проведения исследований по разработке технологий и технических средств для переработки смеси нефтепродуктов и воды, которая образуется при ликвидации аварийного разлива.

Настоящая работа является частью комплекса научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ при строительстве нефтеналивных комплексов на Финском заливе, создаваемых в соответствии с Федеральной целевой программой «Модернизация транспортной системы России (2002 – 2010)».

Анализ актуальных аспектов проблемы обеспечения геоэкологической безопасности при транспортировке и перегрузке нефти и нефтепродуктов позволил сформулировать цель исследований в настоящей работе.

Целью настоящей работы является разработка комплекса геоэкологических технологий и технических средств для переработки смеси воды и нефтепродуктов, внедрение которых позволит повысить уровень экологической безопасности при транспортировке и перегрузке нефти или нефтепродуктов. Для достижения указанной цели был сформулирован следующий комплекс задач:

- осуществить выбор и обоснование технологии очистки нефтесодержащей воды, в том числе, экспериментально определить эффективность очистки;

- разработать теоретическую модель дисперсной системы обводненных нефтепродуктов;

- определить оптимальные значения параметров дисперсной системы обводненных нефтепродуктов, которые обеспечивают эффективное ее использование в качестве топлива;

- разработать технологические и технические предложения в части установок и сооружений для очистки нефтесодержащей воды и утилизации обводненных нефтепродуктов.

Объектами исследований являются процессы образования смеси воды и нефтепродуктов, которая образуется при аварийных разливах, а также процессы переработки этой смеси с целью восстановления качества ее компонентов, обеспечивающего их дальнейшее использование и предотвращение загрязнения природной среды.

Научная новизна работы:

- разработана теоретическая модель дисперсной системы, которой является смесь нефтепродуктов и воды, образующаяся при аварийных разливах;

- разработана и обоснована технология переработки смеси воды и нефтепродуктов, образующейся при аварийных разливах;
- разработана методика расчета параметров седиментационных устройств для очистки нефтесодержащей воды;
- разработана теоретическая модель структуры дисперсной системы обводненных нефтепродуктов;
- получены новые теоретические зависимости, которые позволяют определить диапазон оптимальных значений дисперсно-фазовых характеристик, обеспечивающий эффективное сжигание обводненных нефтепродуктов.

Практическая значимость работы. Разработана новая геоэкологическая технология глубокой очистки нефтесодержащей воды, которая была положена в основу ряда проектов очистных сооружений. Получены зависимости для расчета размеров седиментационных устройств при их проектировании. Определены оптимальные значения дисперсности и концентрации водной фазы в обводненных нефтепродуктах, которые обеспечивают их эффективное использование в качестве топлива при сжигании. Разработан ряд технических устройств, которые используются в геоэкологических технологиях переработки смеси воды и нефтепродуктов. На некоторые из них получены авторские свидетельства.

Материалы и результаты исследования были использованы при разработке курса дисциплины «Экологическая безопасность при перегрузке нефти и нефтепродуктов в портах» в Санкт-Петербургском государственном университете водных коммуникаций.

Основные результаты работы докладывались на международном российско-финском семинаре «Технологии очистки сточных вод. Современные комплексы очистных сооружений» (Финляндия, Тампере, 2000 г.); на семинарах главных инженеров ФГУП «Росморпорт» (Туапсе – 2005 г.; Балтийск – 2006 г.); на международной конференции «Нефть и газ арктического шельфа» (Санкт-Петербург, 2004 год), на международной

конференции «Нефть и газ арктического шельфа» (Мурманск, 2006 год), на международном научно-методическом семинаре «Образование в области ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» (Финляндия, Порвоо, 2006 год), на международной конференции «Инновационные технологии очистки сточной воды» (Германия, Вильнсдорф, 2006 г.).

Основные результаты и положения, выносимые на защиту:

- результаты экспериментальной проверки предложенной технологии очистки нефтесодержащей воды;
- теоретическая модель структуры дисперсной системы обводненных нефтепродуктов;
- теоретические зависимости, которые позволяют определить диапазон оптимальных значений дисперсно-фазовых характеристик обводненных нефтепродуктов, обеспечивающий эффективное их использование в качестве топлива при сжигании.

Личный вклад автора:

- выполнены экспериментальные исследования по определению эффективности технологии очистки нефтесодержащей воды;
- разработана теоретическая модель структуры дисперсной системы обводненных нефтепродуктов;
- получены оптимальные значения дисперсно-фазовых характеристик обводненных нефтепродуктов для организации их эффективного сжигания.

Публикации. Список публикаций по материалам диссертации включает 13 работ, в том числе два авторских свидетельства.

Структура работы и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 193 страницах машинописного текста и включает 87 рисунков и 17 таблиц. Список литературы содержит 103 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Выполненный автором анализ основных принципов обеспечения экологической безопасности при перегрузке и транспортировке нефти и нефтепродуктов показал, что экологическая безопасность этого процесса обеспечивается очисткой нефтесодержащей воды и утилизацией обводненных нефтепродуктов. Такая цель может быть достигнута созданием геоэкологических технологий для переработки извлекаемой при ликвидации аварийных разливов смеси воды и нефтепродуктов.

Геоэкологические технологии переработки смеси воды и нефтепродуктов будут всецело определяться свойствами этой смеси как сложной дисперсной системы, а также свойствами нефтепродуктов. В реальных условиях в пятне разлитых нефтепродуктов одновременно наблюдаются различные процессы – испарение, движение (растекание) пятна, разрушение слоя (пленки) нефтепродуктов. Эти процессы формируют структуру слоя различных нефтепродуктов и прилегающих к нему зон.

Анализ существующих технических средств для сбора разлитых нефтепродуктов и принципа их действия показывает, что применение щеточных элементов позволяет наиболее эффективно извлекать высоковязкую нефть или нефтепродукты с минимальным содержанием воды в виде отдельной фазы – не более 2 – 10 %. При использовании пороговых нефтесборных устройств одновременно с нефтепродуктами поступает большое количество воды, содержание которой может достигать 90 – 95 %.

Одним из основных фрагментов геоэкологических технологий переработки извлекаемой смеси нефтепродуктов и воды является очистка нефтесодержащей воды.

Проблема очистки нефтесодержащей воды известна и ее решение достигло определенных успехов в разных областях. Этой проблеме посвящены работы Стахова Е. А., Назарова В. А., Зубрилова С. П., Решняка В. И., Этина В. Л., Тихомирова Г. И., Листевника Е., Курникова А. С. и других исследователей. Однако, учитывая, что в каждом конкретном случае

нефтедержащая вода представляет собой сложную дисперсную систему, характеризующуюся индивидуальным набором свойств, то и в случае очистки смеси воды и нефтепродуктов, образующейся при аварийном разливе, возникает необходимость выбора и обоснования технологии очистки этой воды от нефтепродуктов.

Основываясь на представлениях Кульского Л.А. и его школы о принципах теоретического обоснования технологии очистки воды, в настоящей работе была разработана и обоснована технология очистки нефтедержащей воды.

В основу выбора и обоснования технологии очистки положены следующие основные факторы: а) дисперсно-фазовые свойства нефтедержащей воды; б) требования к качеству очистки нефтедержащей воды.

Предложенная технологическая схема очистки включает в себя следующие блоки основных операций: а) группа способов первичной очистки от нефтепродуктов, содержащихся в очищаемой воде в виде отдельной фазы, а также от грубодисперсных частиц нефтепродуктов и взвешенных веществ; б) способы глубокой очистки от эмульгированных нефтепродуктов и в) способы обработки воды с целью повышения эффективности первичной очистки.

Предложена методика расчета параметров седиментационных устройств, обеспечивающих наиболее эффективный режим процесса очистки при минимальных затратах на материал для изготовления устройств.

Методика расчета основана на определении оптимального соотношения размеров седиментационного устройства, например, диаметра D и высоты H устройства цилиндрической формы, которые обеспечивают требуемый его объем V .

Оптимальному соотношению D и H будет соответствовать наименьшее значение объема V материала, требуемого для изготовления устройства.

На рис.1 представлены графики, которые позволяют определить значения диаметра седиментационного устройства, которому будет соответствовать наименьшее значение B материала для значений объема устройства от 1,0 до 4,0 м³.

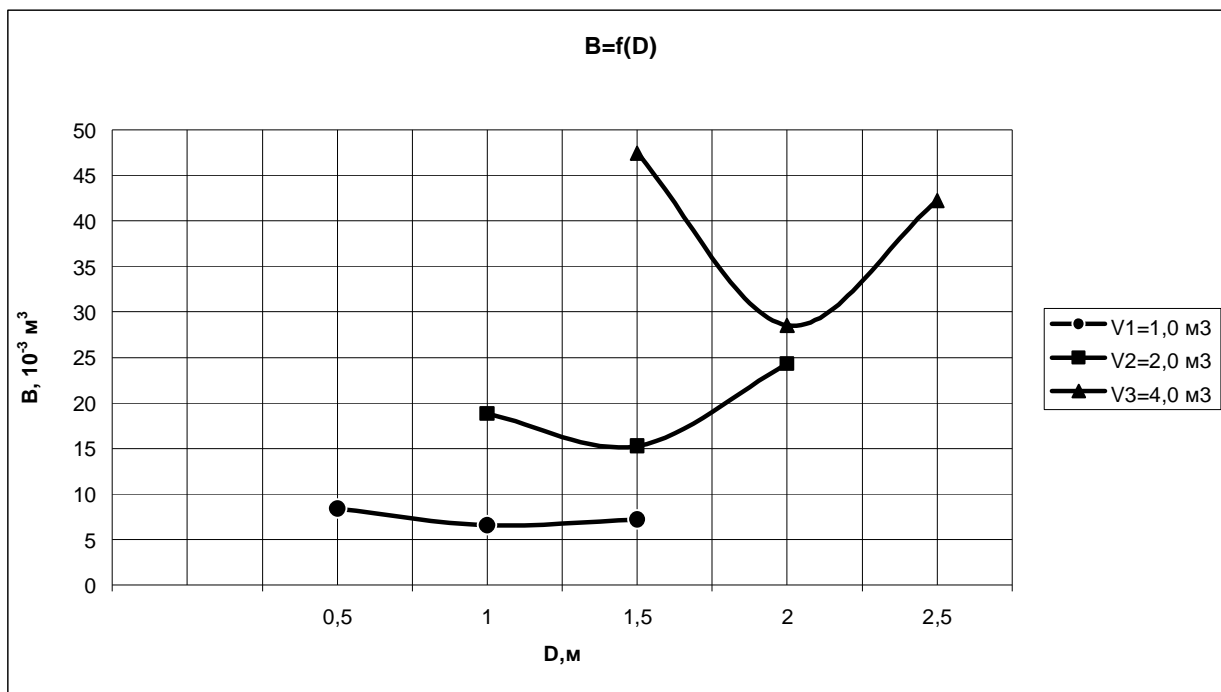


Рис.1 Затраты материала для изготовления седиментационных устройств

На основании исследования особенностей процесса очистки адсорбцией была разработана новая технологическая схема включения и работы адсорбционных фильтров, которая обеспечивает наиболее полное использование адсорбционной загрузки. Такая схема предполагает последовательное подключение адсорбционных фильтров и обеспечивает последовательную смену адсорбционной загрузки в фильтрах с одновременным изменением порядка их подключения.

В настоящей работе были выполнены экспериментальные исследования эффективности очистки нефтесодержащей воды. Эти исследования включали экспериментальное определение оптимальных доз коагулянтов, которые применялись для повышения эффективности очистки при повторной седиментации.

Результаты экспериментальных исследований показали, что применение коагулянтов обеспечивает дополнительное снижение концентрации загрязняющих веществ на 25,8-92,6% по нефтепродуктам и на 30,2-95,4% по взвешенным веществам, а предлагаемая технология очистки обеспечивает на первичной стадии снижение концентрации нефтепродуктов до 4,9-7,5 мг/л и концентрации взвешенных веществ – до 7,2-12,6 мг/л.

Некоторые результаты экспериментальных исследований представлены на рис 2.

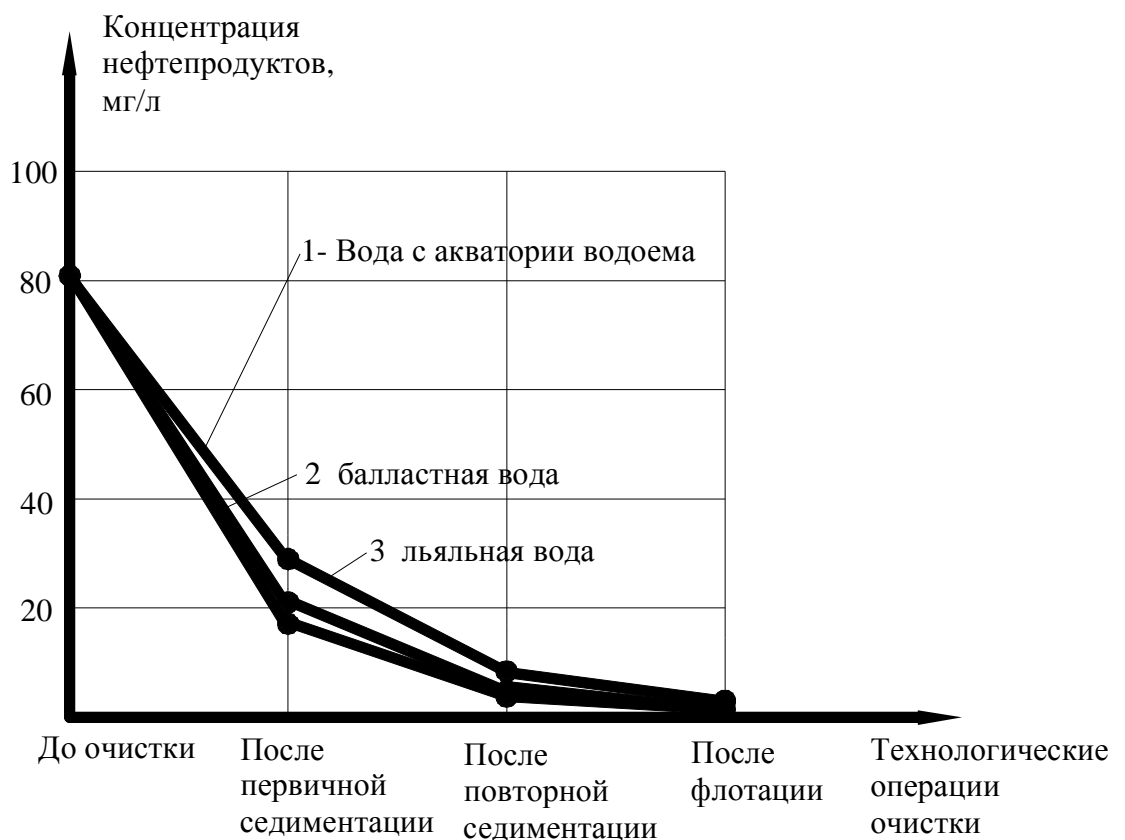


Рис. 2 . Изменение концентрации нефтепродуктов при очистке воды

В диссертации разработана технология утилизации обводненных нефтепродуктов при ликвидации аварийных разливов нефти путем их использования в качестве топлива. Опыт использования обводненных нефтепродуктов в качестве топлива, который отражен в работах Тува И. А., Лебедева О. Н., Гладкова О.А., Лермана Е.Ю. и других исследователей,

показывает, что такой способ их утилизации возможен, однако, реализуется не всегда успешно. Основной причиной таких результатов является недостаточное внимание со стороны исследователей к роли дисперсно-фазовых характеристик обводненных нефтепродуктов как дисперсной системы.

Выполненный автором анализ процесса распыления топливно-водной смеси в объеме ее горения показал, что одним из основных факторов, который будет определять эффективное горение в режиме микровзрыва является вероятность обводненности капель топлива и размер частиц воды.

Для исследования влияния вероятности обводненности капель топлива и размера частиц воды на процесс образования обводненных капель топлива при их распылении в объеме горения автором была предложена теоретическая модель структуры дисперсной системы обводненных нефтепродуктов (см. рис. 3).

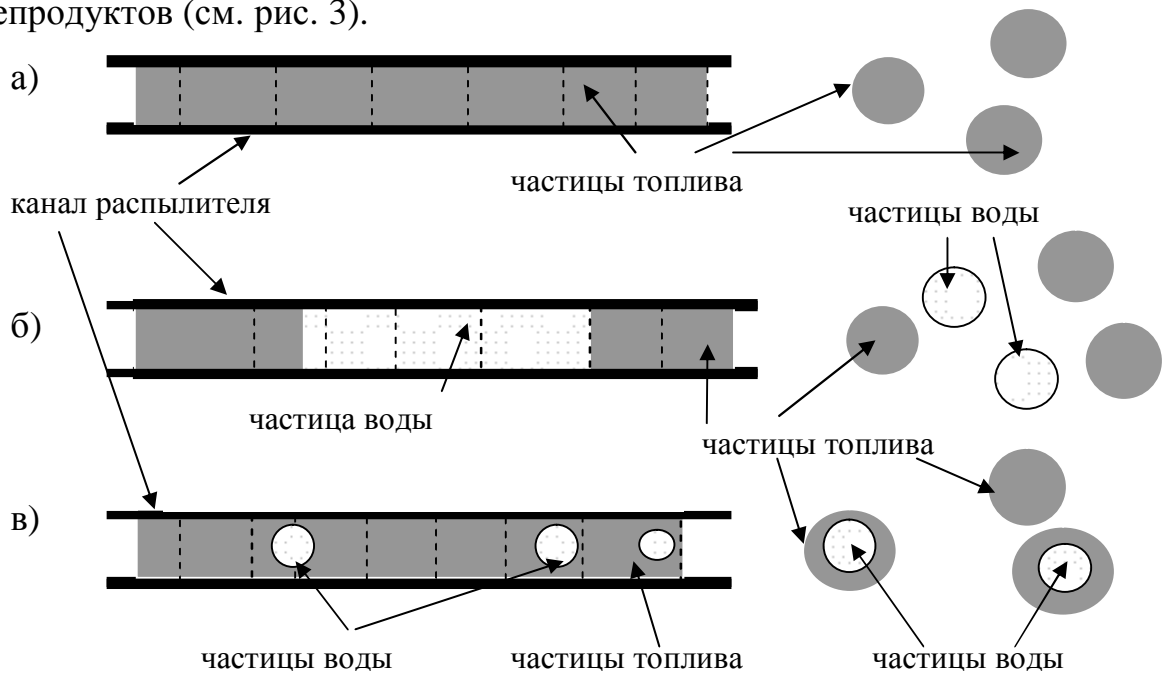


Рис. 3. Образование распыленных частиц топлива

Получена зависимость $C_e = \frac{d_g^3}{d_m^3} \cdot \frac{m}{n}$, которая связывает размер d_g ,

количество n и концентрацию частиц воды C_e с количеством m и размером частиц топлива d_m . Эта зависимость позволяет определить диапазон

оптимальных значений концентрации и размеров частиц воды, которые обеспечивают эффективное сжигание обводненного топлива.

На рис. 4 показаны графики зависимости $C_e = \frac{d_e^3}{d_m^3} \cdot \frac{m}{n}$, построенные для разных значений концентрации воды: от 0,05 до 0,5. Также показан диапазон оптимальных значений (заштрихованная зона) концентрации воды C_B и размера ее частиц, которые обеспечивают эффективное сжигание обводненных нефтепродуктов.

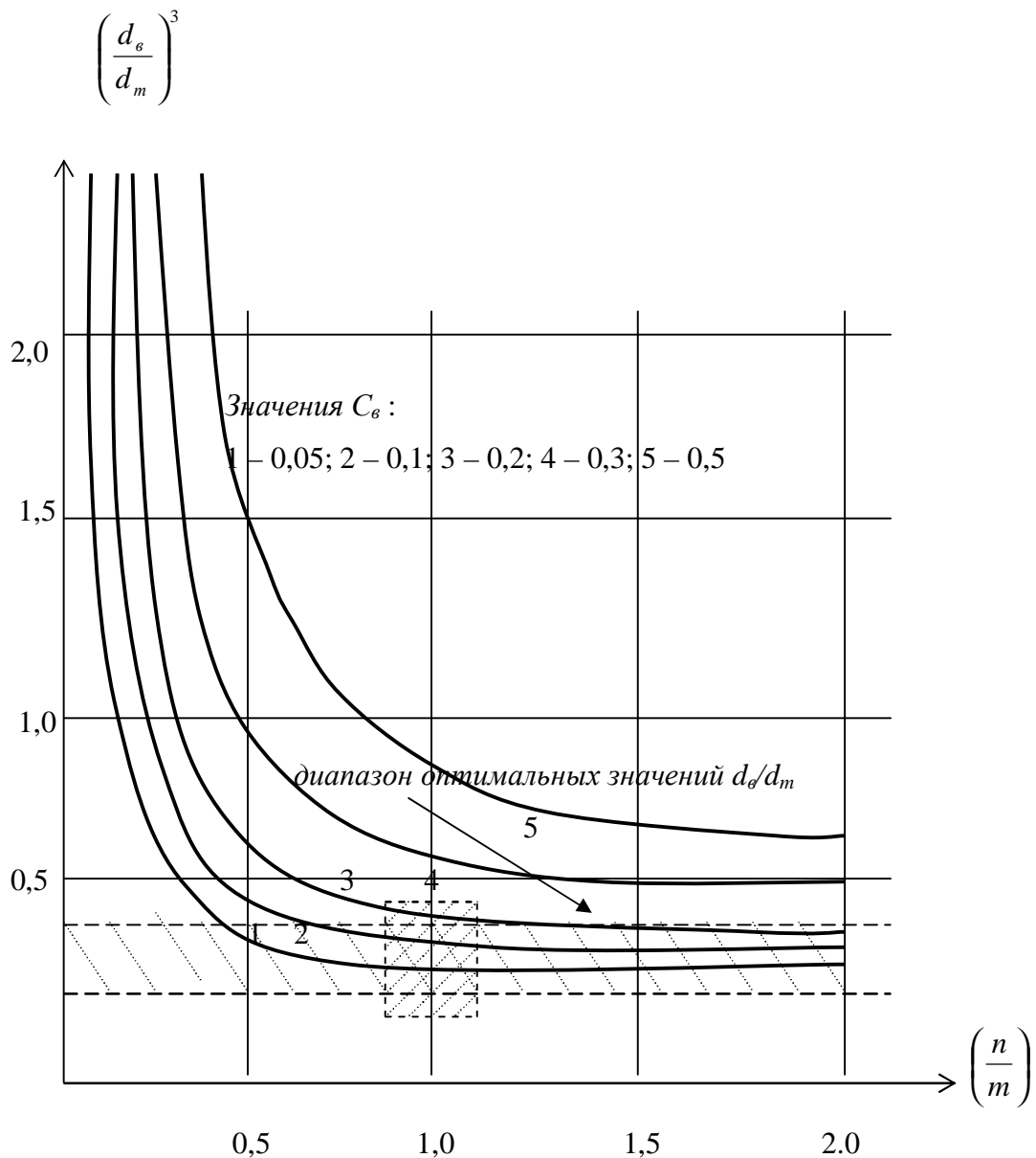


Рис. 4. Определение оптимальных значений концентрации и размеров частиц воды

Практическим результатом исследований явился комплекс проектных, технических и технологических решений для очистки нефтесодержащей воды и утилизации обводненных нефтепродуктов.

Для очистных сооружений морской базы, которые предназначены для очистки нефтесодержащей воды от различных источников образования, была разработана технологическая схема, обеспечивающая очистку от взвешенных веществ до 1-3 мг/л и от нефтепродуктов – до 0,05 мг/л.

Для очистки производственных и поверхностных сточных вод на комбинате ОАО «Металлург» (в настоящее время ЗАО «Метаким», г.Волхов, Ленинградской обл.) были спроектированы, построены и эксплуатируются локальные очистные сооружения производительностью 200 м³/час, в состав которых входит блок фильтрования, на который получен «Экологический сертификат соответствия» (№00000410 от 28.07.04).

Эффективность разработанных и внедренных технологий очистки подтверждена контролирующими организациями при проведении приемосдаточных испытаний.

Результаты, полученные при исследовании процессов образования топливной эмульсии, были использованы при разработке системы для сжигания обводненных нефтепродуктов и утилизации получаемого тепла.

Комплекс является универсальным устройством и позволяет сжигать нефтепродукты с разной степенью их обводненности. Это достигается разными режимами работы устройства. Получаемое при этом тепло с наименьшими потерями может быть утилизировано с помощью разработанного устройства.

Результаты эксплуатации комплекса технических средств для очистки сточной воды и для сжигания обводненных нефтепродуктов и утилизации тепла отвечают требованиям контролирующих организаций, что подтверждается соответствующими документами – сертификатами соответствия, протоколами испытаний, актами приемки. Новизна некоторых

технических предложений отражена в полученных авторских свидетельствах №1409840 и №1749685.

Предложен и реализован ландшафтный защитный комплекс на территории ОАО «Жигулевские стройматериалы» г.Жигулевск, Самарской области, позволяющий использовать особенности ландшафта для локализации аварийного разлива и ликвидации его последствий.

Разработано предложение по созданию плавучего очистного комплекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных в настоящей работе теоретических и экспериментальных исследований были получены следующие результаты.

1. Предложена и обоснована технология переработки смеси воды и нефтепродуктов, которая была положена в основу проектов очистных сооружений.
2. Разработана методика расчета параметров седиментационных устройств для очистки нефтесодержащей воды.
3. Экспериментально показана высокая эффективность предложенной в диссертации технологии очистки нефтесодержащей воды, которая обеспечивает очистку до 0,05-0,3 мг/л нефтепродуктов.
4. Разработана теоретическая модель структуры дисперсной системы обводненных нефтепродуктов, которая позволила получить теоретические зависимости для расчета оптимальных значений дисперсности и концентрации водной фазы, обеспечивающих эффективное сжигание обводненных нефтепродуктов при их использовании в качестве топлива.
5. Результаты теоретических и лабораторных исследований позволили разработать ряд технологических решений и технических устройств, которые используются в технологии переработки смеси воды и нефтепродуктов, в том числе при проектировании ряда объектов в составе нефтеналивных комплексов на Финском заливе, строительство которых осуществляется в соответствии с Федеральной целевой программой «Модернизация

транспортной системы России (2002 – 2010)». Опыт их успешной эксплуатации подтвержден контролирующими организациями.

Список публикаций по материалам диссертации включает 13 работ, из них 2 авторских свидетельства.

1. Матишов Г.Г., Пиотровский А.С., Шавыкин А.А., Жигульский В.А., Макаревич П.Р., Новикова Т.А., ОВОС проекта транспортировки газа со Штокмановского месторождения до завода СПГ в губе Уре [Текст]/ В.А. Жигульский [и др.] // Сб.тр. 7-й международной конференции по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и Континентального шельфа СНГ (RAO/GIS OFFSHORE 2005 PROCEEDINGS). СПб, 2005. - С. 464-468.

2. Жигульский В.А., Щацаев Ю.А., Шавыкин А.А., Карамушко О.В., Оценка ущерба животному миру на примере проекта транспортировки газа от Штокмановского месторождения до завода СПГ в губе Ура [Текст] / В.А.Жигульский, Ю.А.Щацаев [и др.]// Сб.тр. 7-й международной конференции по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и Континентального шельфа СНГ (RAO / GIS OFFSHORE 2005 PROCEEDINGS). - СПб, 2005. - С. 468-473.

3. Пестерева Н.Е., Решняк В.И., Жигульский В.А., Управление эколого-экономическими рисками при разработке комплекса мероприятий по предотвращению возникновения и ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов [Текст] / Н.Е.Пестерева, В.И. Решняк, В.А. Жигульский//, - Сб. научн. тр. СПбГУВК. - СПб, 2006. - С. 213-221.

4. Решняк В.И., Жигульский В.А., Н.Е.Пестерева, Оптимизация размеров устройств при проектировании природоохранных технических средств [Текст] / В.И.Решняк, В.А.Жигульский [и др.]// Сб. научн. тр. СПбГУВК, СПб, 2006. - С. 173-178.

5. Решняк В.И., Жигульский В.А., Ландшафтные защитные комплексы [Текст] / В.И.Решняк, В.А.Жигульский// Экология. Охрана

окружающей среды. Безопасность жизнедеятельности: сб. научн. тр. СПбГУВК, СПб, 2006. – С. 164-173.

6. Решняк В. И., Жигульский В.А., Пестерева Н.Е., Основные принципы обеспечения экологической безопасности в нефтепортах [Текст]/ В.И.Решняк, В.А. Жигульский [и др.]// Сб. научн. тр. СПбГУВК, СПб, 2006. - С. 188-197.

7. Решняк В.И., Жигульский В.А., Влияние дисперсно-фазовых характеристик на процесс сжигания топливно-водных эмульсий, [Текст]/ В.И.Решняк, В.А. Жигульский.// Сб. научн. тр. СПбГУВК, СПб, 2006. - С. 221-227.

8. Пестерева Н.Е., Решняк В.И., Жигульский В.А., Оптимизация организационно-технических мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти [Текст]/ Н.Е.Пестерева, В.И.Решняк, В.А. Жигульский.// Сб.научн. тр. международн. конференции «Экобалтика-2006», СПб, 2006. - С. 112-114.

9. Жигульский В.А., Решняк В.И., Рейдовые перегрузочные комплексы [Текст] / В.А.Жигульский, В.И. Решняк// Сб. научн. тр. «Актуальные социально-экономические и транспортно-технические проблемы развития транспортной системы», ВФ СПбГУВК, Выборг, 2006 - С. 61-67.

10. Жигульский В.А., Решняк В.И., Теоретическое обоснование технологии переработки смеси воды и нефтепродуктов при ликвидации аварийных разливов, материалы конференции НГАШ-2006 [Текст]/ В.А.Жигульский, В.И. Решняк// Мурманск, 2006. - С. 157-159.

11. Жигульский В.А., Решняк В.И., Плавающий очистной комплекс [Текст]/ В.А., Жигульский, В.И.Решняк // Судостроение. – 2006. - № 5. – С. 47-48.

12. Авторское свидетельство № 1409840 Теплообменник типа «труба в трубе» [Текст] / Бруев А. В., Жигульский В. А., Тимофеев Г.Г., заявка № 4192742 от 19.12.86; зарегист. 15.03.88.

13. Авторское свидетельство № 1749685, Теплообменный циркуляционный контур [Текст] /Бруев А.В., Жигульский В.А., заявка № 4835786 от 08.04.90, зарегистр. 22.03.92.