

На правах рукописи



ТАРАНЦЕВ КОНСТАНТИН ВАЛЕНТИНОВИЧ

**ПРОЦЕССЫ СОЗДАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ЭМУЛЬСИЙ
СО СЛАБОПРОВОДЯЩЕЙ СПЛОШНОЙ СРЕДОЙ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Пенза - 2019

Работа выполнена на кафедре «Технология машиностроения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет».

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Поникаров Сергей Иванович

Официальные оппоненты: **Вязьмин Андрей Валентинович**, доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет», и.о. заведующего кафедрой «Процессы и аппараты химической технологии им. Гельперина Н.И.»
Лагуткин Михаил Георгиевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», профессор кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств»
Шулаев Николай Сергеевич, доктор технических наук, профессор, филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке, заведующий кафедрой «Информатика, математика и физика»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»

Защита диссертации состоится «11» октября 2019 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.080.15, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д.68, Зал заседаний Ученого совета - каб. 330).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и по адресу <http://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=288324>.

Автореферат разослан « » _____ 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.080.15,
кандидат технических наук



Минибаева
Лилия
Радиковна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Процессы создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Наиболее широко они применяются при добыче и переработке нефти, когда она подвергается обессоливанию и обезвоживанию для достижения заданных свойств. На российских нефтеперерабатывающих заводах в настоящее время действуют более тридцати электрообессоливающих установок (ЭЛОУ), количество пресной воды, затрачиваемой в них на процесс, в значительной мере зависит от эффективности работы оборудования. Чем ниже эффективность их работы, тем выше потребление пресной воды, и, соответственно, расход электроэнергии на ее перекачивание и повторные процессы обезвоживания и обессоливания нефти для достижения требуемых свойств. С учетом того, что на ЭЛОУ используется от 30 до 100 литров воды на одну тонну нефти, ежегодный расход пресной воды только по 12 основным нефтеперерабатывающим заводам, составляет 44,5 млн. кубических метров. Это представляет серьезную **народнохозяйственную проблему**. Необходимо уменьшить количество потребляемой пресной воды на процессы обессоливания нефти и тем самым снизить энергопотребление и нагрузку нефтехимической отрасли на окружающую среду.

Решение сформулированной проблемы лежит на пути разработки новых технических и технологических решений, для которых необходимы новые принципы и методология проектирования оборудования для создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле.

Основы процессов обезвоживания и обессоливания нефти в электрическом поле заложили F.G. Cottrell, H.F. Fisher, W. Clayton, J. Raisin, Г.М. Панченков, Л.К. Цабек, А.А. Гуреев, А.Г. Мартыненко, В.А. Проскуряков, Д.Н. Левченко, С.Ш. Гершуни, Хуторянский Ф.М., В.Н. Швецов и многие другие. Однако, не смотря на то, что в последние годы получены новые знания о кинетике процессов создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле на микроуровне, позволяющие определять скорость протекания физических явлений на молекулярном уровне и в локальном объеме аппарата, до сих пор, при проектировании оборудования для электродиспергирования и электрокоалесценции, используется подход, учитывающий лишь макрокинетику процесса в масштабе аппарата в целом. Он не позволяет учесть дополнительные возможности интенсификации процесса за счет учета механизмов создания и разрушения эмульсий на микроуровне.

Связано это с отсутствием систематизированных знаний, описывающих процессы создания и разрушения эмульсий в электрическом поле с единых позиций, необходимостью совместного решения уравнений гидромеханики и электрофизики, и, соответственно сложностью математического описания процессов, происходящих в аппаратах обезвоживания и обессоливания нефти. В связи с вышеперечисленным необходима систематизация, разработка и обобщение электрогидродинамических теорий процессов создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле, а также но-

вые технические и технологические решения для совершенствования методов проектирования технологических систем и оборудования электрообезвоживания и электрообессоливания нефти.

Целью работы является систематизация, разработка и обобщение электрогидродинамических теорий создания и разрушения эмульсии со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле и разработка методологии совершенствования существующего и проектирования вновь создаваемого оборудования технологических процессов обезвоживания и обессоливания нефти в электрическом поле с позиций ресурсосбережения.

Для достижения поставленной цели в работе решались:

методическая задача:

1. *Разработка методологии* исследования и проектирования ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов создания и разрушения водонефтяных эмульсий в электрическом поле в контролируемых условиях электрогидродинамики, обеспечивающих сбережение пресной воды, затрачиваемой на процесс обессоливания нефти, а тем самым и энергии на ее подготовку и перекачивание.

научные задачи:

2. *Систематизация структуры* явлений, эффектов и процессов, происходящих при диспергировании и деэмульсации на электрообессоливающей установке.

3. Анализ и структурирование *микрокинетики процесса* деформации и разрушения капли в отсутствии и в присутствии электрического поля.

4. Определение характера распределения зарядов на границах раздела и степени его влияния на направление и интенсивность электрогидродинамической конвекции, поле скоростей и механизм изменения топологии границ раздела капель дисперсной фазы в электрическом поле.

5. *Структурирование и анализ факторов влияющих на микрокинетику* процесса слияния для двух или более капель в слое сплошной фазы при наличии электрического поля.

практические задачи:

6. Разработка обобщенной *методики синтеза* химико-технологической системы электрообессоливания нефти с оптимальными удельными расходами сырья.

7. Разработка *инженерной методики исследования и расчета электрогидродинамических аппаратов*, позволяющей, на основании численных расчетов на всех стадиях проектирования обоснованно выбирать форму, размеры рабочей зоны и электродов во вновь создаваемых конструкциях и оптимизировать конструкцию и режим работы существующих электрогидродинамических аппаратов.

8. Разработка *численной модели определения гидродинамики* течения жидкостей в электрогидродинамических смесителях и дегидрататорах в полях массовых и поверхностных гидродинамических и электрических сил.

9. Получение, на основе численного моделирования, данных по влиянию конструктивных параметров и режимных факторов на поля скорости, давления, кинетической энер-

гии турбулентности, напряженности электрического поля и использование их при проектировании для обоснованного выбора геометрии рабочей зоны электрогидродинамических смесителей и коалесценторов.

10. *Разработка новых конструкций* и совершенствование существующего аппаратного оформления процессов электрообезвоживания и электрообессоливания нефти с позиций энерго- и ресурсосбережения на основе анализа влияния конструктивных и режимных параметров на гидродинамику течения жидкостей в электрогидродинамических смесителях и дегидрататорах в полях массовых и поверхностных гидродинамических и электрических сил.

11. *Выбор интегрального критерия* экономической целесообразности обобщающего все уровни вертикальной декомпозиции ЭЛОУ, т.е. учитывающий и микро- и макроуровни, который при достаточной эффективности установки позволил определить оптимальные значения параметров процессов создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрогидродинамических аппаратах при соблюдении принципа Парето.

Научная новизна диссертационной работы состоит в разработке методологии изучения и проектирования процессов электродиспергирования и электрокоалесценции на основе систематизации, разработки и обобщения электрогидродинамических теорий процессов создания и разрушения эмульсии со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле, в исследовании и оценке разработанной теории для действующих и вновь проектируемых технологических систем электрообессоливания и электрообезвоживания нефти, и объединяет следующие положения:

1. Методологию изучения и проектирования ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле в контролируемых условиях электрогидродинамики для нефтехимической отрасли промышленности, обеспечивающих снижение потребления пресной воды, основанную на принципах системного анализа и кибернетическом подходе.

2. Механизм деформации и разрушения капель дисперсной фазы в слабопроводящих жидкостях в электрическом поле в зависимости от их размеров и механизм их поведения в неоднородном электрическом поле в зависимости от электрогидродинамических течений сплошной среды.

3. Математическую модель деформации, разрушения и слияния капель воды в слабопроводящих средах, учитывающую влияние сил Кулона и поляризационных сил, и позволяющую определить влияние гидродинамических и электрофизических параметров на величину, и скорость деформации капли.

4. Классификацию структуры явлений, эффектов и процессов, происходящих при диспергировании и деэмульсации на микро- и макроуровнях на электрообессоливающей установке.

5. Методику численного исследования на микроуровне процессов разрушения и слияния капель воды в слабопроводящих средах под воздействием электрического поля.

6. Методику численного моделирования гидродинамики течения слабопроводящей жидкости на макроуровне в электрогидродинамических смесителях, коалесценторах и дегидрататорах в полях массовых и поверхностных гидродинамических и электрических сил.

7. Интегральный критерий интенсивности процесса на ЭЛОУ, позволяющий на основе экономической целесообразности сопоставлять различные варианты проведения процессов в электродиспергаторах, электрокоалесценторах и электродегидрататорах и выбирать рациональные конструкции аппаратов для создания и разделения эмульсий в электрическом поле.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

- определена иерархическая структура реализации процессов диспергирования и деэмульсации на микро- и макроуровнях. Разработана обобщенная методика синтеза ресурсосберегающей химико-технологической системы установки электрообессоливания нефти с оптимальными удельными расходами сырья.

- на базе основных положений теорий гидромеханики и электрофизики, теоретических и экспериментальных исследований нестационарных процессов создания и разделения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрических полях предложена обобщенная методика исследования и расчета электрогидродинамических смесителей и дегидраторов, позволяющая численными методами с использованием программ Salome, Code Saturne, Paraview, Elmer FEM и COMSOL оптимизировать их конструкцию и режимы работы на основе разработанных моделей течения несжимаемой жидкости, зависимости размеров капель дисперсной фазы от величины критерия Вебера.

- получены результаты численного моделирования влияния конструктивных параметров и режимных факторов на поле скоростей, давления и распределения сил электрического поля, которые можно использовать на начальной стадии проектирования для выбора формы, размеров рабочей зоны, а также расположения электродов в электрогидродинамических смесителях и дегидрататорах.

- разработаны и запатентованы новые конструкции электродиспергатора, электрокоалесцентора и электродегидрататора для эффективного проведения процессов создания и разделения неоднородных дисперсных систем с нестабильной дисперсной фазой в электрическом поле, обеспечивающие ресурсосбережение, высокую эффективность и удельную производительность.

Результаты исследований, предложенные методики расчета и разработанные на их основе конструкции электрогидродинамических диспергаторов и дегидраторов внедрены на ОАО "Средневолжский научно-исследовательский институт по нефтепереработке" (г. Новокуйбышевск Самарской области); ОАО "Научно-исследовательский и проектно-технологический институт химического машиностроения" (г. Пенза); ООО «Агентство инженерно-экологического проектирования» (г. Йошкар-Ола); ОАО НПП «Химмаш-Старт» (г. Пенза); ООО «Нефтяная Компания «Геонефтьтехнология» (г. Саратов), ООО «Новоуренгойский газохимический комплекс» (г. Новый Уренгой), ФГБОУ ВО Московский государственный технологический университет им. Д.И. Менделеева (г. Москва), ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (г. Белгород).

Методология и методы исследования.

Методология основана на системном анализе и кибернетическом подходе. Теоретической базой послужили труды отечественных и зарубежных исследователей в области электрогидродинамики и нефтехимической технологии.

Теоретические исследования проводились на основе обобщенного анализа процессов деформации, разрушения, коагуляции и слияния капель в электрическом поле на базе основных положений теорий гидромеханики и электрофизики; изучения кинетики процессов создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле на микро- и макроуровнях; математического моделирования с использованием программ Salome, Code Saturne, Paraview, Elmer FEM и COMSOL и базировались на методах системного анализа, теории математического моделирования, теории вероятностей и математической статистики, теории подобия, численных методах и теории вычислительного эксперимента.

Экспериментальные исследования базировались на теории физического моделирования, корреляционно-регрессионном анализе, теории планирования эксперимента. В ходе них проводились натурные испытания, применялись физико-химические методы анализа и стандартные методики кинетических измерений.

На защиту выносятся:

1. Методология исследования и проектирования ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле в контролируемых условиях электрогидродинамики для нефтехимической отрасли промышленности, обеспечивающие энерго- и ресурсосбережение. Иерархическая структура реализации процессов диспергирования и деэмульсации на микро- и макроуровнях.

2. Результаты исследования на физических моделях распределения скоростей и изменения топологии границ раздела капель дисперсной фазы в электрическом поле при движении их в электрогидродинамических аппаратах, позволяющие оценить характер распределения зарядов на границах раздела и характер электрогидродинамической конвекции.

3. Результаты исследования процессов движения, деформации и разрушения капли воды в слабопроводящей среде и слияния для двух или более капель при коагуляции и слиянии в слое сплошной фазы без энергетического воздействия и в электрическом поле.

4. Новые механизмы разрушения капли воды в электрическом поле в слабопроводящих жидкостях, расширяющие существующую классификацию.

5. Обобщенная методика синтеза ресурсосберегающей химико-технологической системы установки электрообессоливания нефти с оптимальными удельными расходами сырья.

6. Методика и результаты численного исследования на микроуровне процессов разрушения и слияния капель воды в слабопроводящих жидкостях под воздействием электрического поля.

7. Критерии оценки интенсивности и эффективности процессов на микро- и макроуровне на ЭЛОУ, позволяющие сопоставлять различные варианты проведения процессов в

электродиспергаторах, электрокоалесценторах и электродегидраторах и выбирать рациональные конструкции аппаратов для создания и разделения эмульсий в электрическом поле.

8. Инженерная методика численного исследования и расчета электрогидродинамических смесителей и дегидраторов с использованием программ Salome, Code Saturne, Paraview, Elmer FEM и COMSOL.

9. Результаты численного моделирования влияния конструктивных параметров и режимных факторов на поле скоростей, давления и распределения сил электрического поля в электрогидродинамических смесителях и дегидраторах.

10. Конструкции электродиспергатора, электрокоалесцентора и электродегидратора для проведения процессов создания и разделения неоднородных дисперсных систем с нестабильной дисперсной фазой в электрическом поле.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с инициативными и госбюджетными НИР, проводимых на кафедре «Химическое машиностроение и электрохимические производства» ПГУ в период с 1997 по 2010 г.г.; на кафедре «Биотехнологии и техносферная безопасность» ПензГТУ в период с 2010 по 2015 г.г. в рамках хоздоговорных и инициативных НИР, с 2016 г. по 2019 г. в рамках госзадания «Разработка научных основ энерго-и ресурсосберегающих процессов энергоимпульсного разрушения в электрическом поле и разработка оборудования основанного на электрогидродинамических принципах».

Степень достоверности. Достоверность результатов обеспечена комплексным использованием известных, проверенных практикой теоретических и эмпирических методов исследования, проверкой теоретических положений и новых решений, сопоставлением полученных результатов исследований с известными теоретическими и экспериментальными данными отечественных и зарубежных исследователей по изучаемой области наук, сходимостью большого количества экспериментальных данных с известными теоретическими закономерностями, применением при анализе и обработке данных современного программного обеспечения, апробацией на конференциях российского и международного уровней. Результаты диссертационной работы базируются на строго доказанных и корректно используемых выводах фундаментальных и прикладных наук, таких как: процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, коллоидная химия, теория двойных слоев, электрогидродинамика, теория подобия, численные методы, корреляционно-регрессионный анализ, теория планирования эксперимента и теория вычислительного эксперимента.

Апробация результатов работы.

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на 1) научно-технической конференции «Экологическая безопасность регионов России», Пенза, 1998; 2) научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и студентов ПГТУ, Пенза, 1998; 3) Международном юбилейном симпозиуме (АПНО-2003) «Актуальные проблемы науки и образования», Пенза, 2003; 4) XXIII-ом Международном симпозиуме «Новые технологии в образовании, науке и экономике», Маскат (Оман), 2008; 5) Международном симпозиуме «Надежность и качество», Пенза, 2009; 6) II и IV Международной научно-практической Интернет конференции, «Молодежь. Наука. Инновации», Пенза, 2010, 2011; 7) X и XI международных конференциях "Современные проблемы электрогидродинамики

и электрофизики жидких диэлектриков", Петродворец, Санкт-Петербург, 2012, 2015; 8) Международной научно-практической конференции «Innovative Information Technologies», Прага, 2014; 9) X Международной научно-практической конференции «Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM», Пенза, 2016; 10) Российско-американской научной школе-конференции «Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов», Казань, 2016.

Публикации.

По материалам исследований опубликовано 53 работы в международных, академических, зарубежных и отраслевых журналах и научных изданиях. Из них 36 статей в журналах из перечня ВАК, 25 из которых проиндексирована в Scopus и Web of Science, одна монография, 2 патента РФ на изобретения.

Личный вклад автора состоит в постановке проблем и задач исследования, выдвижении научных идей, разработке стратегии исследования, поиске и анализе научно-технической и патентной информации в российских и международных базах, разработке методологических основ исследования процессов создания и разрушения эмульсий в электрическом поле, разработке математических моделей, проведении физического и численного эксперимента, получении, анализе и обобщении результатов.

Структура и объём работы.

Диссертация включает введение, шесть глав, заключение, список литературы из 294 наименований. Работа изложена на 297 страницах, содержит 76 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранного направления исследования; определены его цели и задачи; показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов; представлены основные результаты теоретических исследований.

В первой главе представлена методология исследования процессов создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей средой в электрическом поле.

В первом разделе первой главы выявлены объект и предмет исследований, даны их характеристики.

Объект - процессы создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле, механизмы процессов диспергирования и деэмульсации, представленные элементами *на микроуровне* – отдельная капля воды в нефти, *на макроуровне* – водонефтяная эмульсия, оборудование для электродиспергирования и электрокоалесценции.

Предмет, проводимых в диссертации исследований – теория процессов и оборудования создания и разрушения водонефтяных эмульсий, механизмы деформации, разрушения, а также коагуляции и слияния капель воды в слабопроводящих средах, приводящие к образованию или разрушению эмульсий в рабочей зоне аппаратов в полях массовых и поверхностных гидродинамических и электрических сил.

Разрабатываемая *теория процессов* создания и разрушения водонефтяных эмульсий включает в себя принципы, методологию, методы и теоретические основы управления процессами разрушения и слияния капель воды в слабопроводящих средах. *Теоретические основы проектирования оборудования* объединяют принципы, методы и теоретические основы исследования и проектирования оборудования для создания и разделения водонефтяных эмульсий в электрическом поле: электрогидродинамических смесителей и дегидраторов.

Во втором разделе первой главы представлена методика исследования процессов создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей средой в электрическом поле.

В качестве дисперсионной среды при физическом эксперименте в диссертации использовались циклогексан, касторовое и трансформаторное масла, в качестве дисперсной фазы – дистиллированная вода. Данные модельные среды выбраны потому, что нефть является слабо прозрачной жидкостью. Поэтому исследования проводились на прозрачных модельных средах в диапазоне свойств, характерном для водонефтяных эмульсий: электропроводность (σ , Ом·см⁻¹) от $1,5 \cdot 10^{-5}$ до $3,0 \cdot 10^{-19}$; относительная диэлектрическая проницаемость среды ϵ от 2,0 до 80,08; плотность (ρ , кг/м³) от 778 до 1000; динамическая вязкость (η , мПа·с) от 0,5 до 1252,16. Наблюдение электрогидродинамических течений в объеме и на границе раздела фаз проводилось в средах: воздух – касторовое масло; вода – касторовое масло и циклогексан – касторовое масло.

Исследование процессов диспергирования и деэмульсации капель воды в слабопроводящей жидкости проводилось на *экспериментальной установке*, состоящей из электрической и оптической системы. Регистрация протекающих процессов проводилась фотографированием и скоростной киносъемкой. Это позволило фиксировать процессы электродиспергирования и электрокоалесценции и исследовать их во времени. Для создания электрических полей и получения электрогидродинамических потоков различной интенсивности и направленности применялись системы электродов: два плоских электрода, стержень-плоскость, острие-плоскость, острие-спираль. Исследование и апробация разработанных электрогидродинамических устройств, проводилось на пилотной установке на базе высоковольтного трансформатора, позволяющего повышать напряжение до 100 кВ (рис.1).

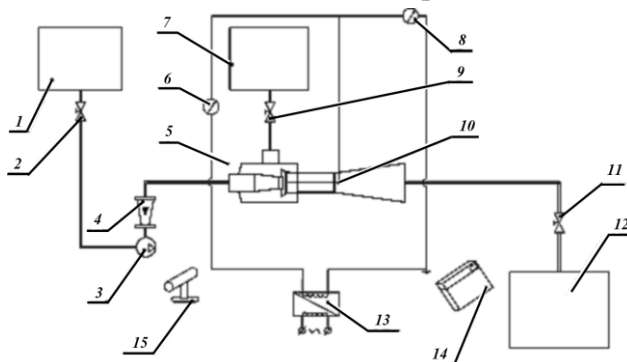


Рисунок 1 – Схема пилотной установки: 1 – ёмкость для слабопроводящей жидкости; 2, 9, 11 – регулирующие вентили; 3 – шестерёнчатый насос; 4 – ротаметр; 5 – электрогидродинамический диспергатор; 6 – киловольтметр; 7 – ёмкость с водой; 8 – микроамперметр; 10 – электрод; 12 – ёмкость сбора полученной эмульсии; 13 – высоковольтный источник тока; 14 – цифровая камера; 15 – источник света

Основным рабочим элементом являлась рабочая ячейка 5, представляющая собой электрогидродинамические диспергаторы разной формы. Слабопроводящая жидкость из емкости 1 и диспергируемая жидкость из емкости 7 по соединительным шлангам поступали в ячейку 5, откуда полученная эмульсия направлялась в емкость 12 для сбора эмульсии.

Численные эксперименты проводились на модельных средах со свойствами реальных жидкостей из диапазона экспериментальных данных, представленных в литературе и доступных автору:

- для дисперсионной среды с электропроводностью от $5,0 \cdot 10^{-14}$ до 10^{-10} (Ом·см)⁻¹; относительной диэлектрической проницаемостью от 2,02 до 6,3; плотностью от 951 до 1040 кг/м³; динамической вязкостью от 0,474 до 1252,16 мПа·с.

- для дисперсной фазы с электропроводностью от $1 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ (Ом·см)⁻¹; относительной диэлектрической проницаемостью от 5,33 до 80; плотностью от 778 до 1000 кг/м³; динамической вязкостью от 0,98 до 1252 мПа·с.

Вышеуказанные диапазоны выбраны исходя из необходимости анализа всех известных механизмов деформаций капель одной жидкости в другой. Исследовались следующие пары жидкостей: вода, нефть, касторовое масло, различные масла.

В третьем разделе первой главы разработана методология исследования и проектирования ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов создания и разрушения водонефтяных эмульсий в электрическом поле в контролируемых условиях электрогидродинамики.

Методология объединяет исследования на микро- и макроуровнях системы в единый взаимосвязанный комплекс и позволяет рассмотреть всю совокупность процессов протекающих при создании и разрушении эмульсий с позиций системного анализа и кибернетического подхода, используя методы физического и математического моделирования, и разрабатывать новые конструкции электрогидродинамических устройств (рис. 2).

В соответствии с разработанной автором методологией далее в диссертации проведены следующие исследования:

- анализ факторов интенсифицирующих процессы создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой, выбор вида и метода воздействия на границы раздела жидкостей (глава 1);

- декомпозиция – определение иерархической структуры процессов диспергирования и деэмульсации (глава 1);

- анализ (научные основы) физической сущности процессов диспергирования и деэмульсации на микроуровне на основе физического эксперимента (главы 2 и 3);

- анализ микрокинетики процессов диспергирования и коалесценции на основе численного моделирования: - деформации и разрушении при движении единичного включения дисперсной фазы (капли); - коагуляции и слияния для двух или более капель, перемещающихся в слое сплошной фазы (глава 4);

- анализ макрокинетики в масштабах аппаратов (глава 5);

- моделирование и инженерное проектирование технологического оборудования для создания и разрушения эмульсий в электрическом поле (глава 6).



Рисунок 2 – Методология исследования процессов и проектирования оборудования создания и разрушения эмульсий в процессах электродиспергирования и электродеэмульсации

В четвертом разделе первой главы выполнен анализ и ранжирование (систематизация) факторов интенсифицирующих процессы диспергирования и деэмульсации. Осуществлен выбор вида, и метода воздействия на границы раздела жидкостей с позиций ресурсо- и энергосбережения.

Показано, что электрогидродинамические эффекты приводят к изменению количественных и качественных параметров процессов создания и разрушения водонефтяных эмульсий. Существенно изменить количественные и качественные параметры процессов создания и разрушения эмульсий возможно при использовании физико-химических явлений происходящих вблизи границ раздела фаз под действием сил электрического поля. Эти эффекты исследовали М. Faraday, Г.А.Остроумов, J. R. Melcher, G. I. Taylor, R. S. Allan, S. Torza, Ю.К. Стишков, Ю.М. Рычков, Р.Х. Абдуллаев, А.А. Агаев, Т.А. Меликова, А.И. Григорьев, М. Z. Bazant, N. Aske, С.Н. Chen и другие.

В результате поиска интенсифицирующих воздействий выявлен механизм данных процессов. Подробное рассмотрение частных явлений и деталей механизма позволило установить лимитирующее звено механизма – границы раздела капель эмульсии. В результате, из всего многообразия энергетических воздействий было выбрано электрическое поле, позволяющее при малых энергозатратах получить существенный экономический эффект.

В пятом разделе первой главы – выявлена иерархическая структура процессов диспергирования и деэмульсации, систематизирована структура явлений, эффектов и процессов, происходящих при диспергировании и деэмульсации на электрообессоливающей установке. В результате декомпозиции системы (второй этап методологии) определена иерархическая структура данных процессов (рис. 3).

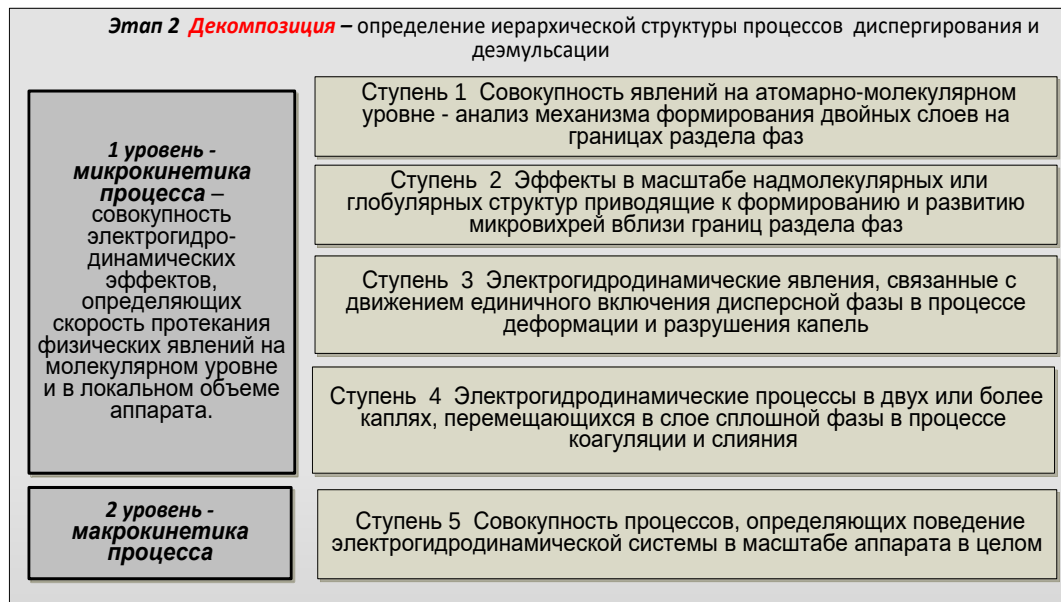


Рисунок 3 – Иерархическая структура процессов диспергирования и деэмульсации в электрическом поле

Первые четыре ступени иерархии – физическая сущность процессов диспергирования и деэмульсации на уровне микрокинетики, пятая ступень – макрокинетика процессов.

Для описания движения потоков *на макроуровне* в электродиспергаторах и/или электрокоалесценторах использован подход предложенный Колмогоровым. Принималось, что при турбулентном течении частицы жидкости перемещаются, главным образом, макровихрями, в то время как основные потери на внутреннее трение происходят в малых вихрях или микровихрях. При деэмульсации стойких эмульсий максимальный эффект от турбулизации потока достигается, в случае если средний диаметр микровихрей меньше среднего диаметра капель воды в нефти. Если средние размеры капель обрабатываемой эмульсии значительно превышают средний устойчивый диаметр микровихрей, при выбранной степени турбулентности, эффект гидродинамического воздействия будет способствовать обратному процессу – процессу дробления капель, т.е. электродиспергированию.

Во второй главе проанализирована микрокинетика процессов создания эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в отсутствии и под воздействием электрического поля. Показано, что в отсутствии электрического поля основными гидродинамическими факторами, оказывающими влияния на процессы разрушения капель воды, являются неоднородное поле скоростей и турбулентность.

В электрическом поле существует 3-х основные *механизма* разрушения капель (*A*, *B* и *C*), зависящие от напряженности электрического поля, его типа (однородное/ неоднородное, постоянное/переменное) и соотношения диэлектрических проницаемостей жидкостей внутри и снаружи капли.

Для понимания механизма формирования заряженных слоев на границе раздела двух жидкостей и вблизи ее, проводились физические эксперименты. Исследовались особенности деформации и разрушения капель воды в слабопроводящих средах в полях массовых и поверхностных гидродинамических и электрических сил, на плоской границе раздела воздух – касторовое масло и циклогексан – касторовое масло, при изменении неоднородности, полярности, напряженности электрического поля.

Выявлено, что электрическое поле влияет на объемные и поверхностные заряды, расположенные на границе и непосредственно вблизи границы раздела двух жидкостей, и оказывает определяющее влияние на поле скоростей и механизм изменения топологии границ раздела капель дисперсной фазы. Выявлен характер распределения зарядов на границах раздела и характер электрогидродинамической конвекции. В результате исследований расширена и дополнена существующая классификация, механизмами *D* и *E*. разрушения капель в электрическом поле (рис. 4).



Рисунок 4 – Новая классификация механизмов разрушения капель эмульсии в электрическом поле

Механизм D. Капля вовлекается в процесс движения сплошной среды и в случае касания электрода получает заряд, что приводит к резкому ее отталкиванию от поверхности электрода. В процессе движения она разрушается в результате взаимодействия с окружающей средой.

Механизм E наблюдается непосредственно у электродов, где велико влияние на деформацию капли электрогидродинамических течений сплошной среды. Он протекает тем интенсивнее, чем выше неоднородность электрического поля и чем сильнее развиты электрогидродинамические течения способствующие процессам разрыва капли.

Оба процесса зарегистрированы скоростной киносъемкой процесса с временными метками. Обнаружено, что механизм разрыва капли в электрическом поле зависит от ее раз-

мера. Для малого размера каплей, наблюдается, преимущественно механизм разрыва А. С увеличением размера капель происходит их разрушение вначале по механизму В, затем С. Разрушение по механизму Д, наблюдается для всех капель в случае касания их электрода. Исследования показали, что *механизм Е* протекает тем интенсивнее, чем выше неоднородность электрического поля, и чем сильнее развиты электрогидродинамические течения, способствующие процессам разрыва капли. Он протекает непосредственно у электродов, где на деформацию капли велико влияние электрогидродинамических течений сплошной среды.

Автором предлагается учитывать эти механизмы при конструировании электрогидродинамических устройств. Для электрогидродинамических диспергаторов следует максимально использовать электрогидродинамические течения, вовлекающие капли дисперсной фазы в зону высокой напряженности, и создавать условия для их контакта с электродами. Для электродегидраторов и электрокоалесценторов этого явления следует избегать.

Результаты, полученные автором в ходе физических экспериментов, сравнивались с результатами аналитических расчетов по теории малых деформаций Тейлора. Влияние напряженности электрического поля на степень деформации капли воды в касторовом масле

оценивалось в виде зависимости между степенью деформации капли $D = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d_{\max} + d_{\min}}$ ($d_{\max}$ и $d_{\min}$ – максимальный и минимальный диаметры деформированной капли) и числом Вебера

$$We = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon R_0 \vec{E}_\infty^2}{\sigma} \quad (\text{рис. 5}).$$

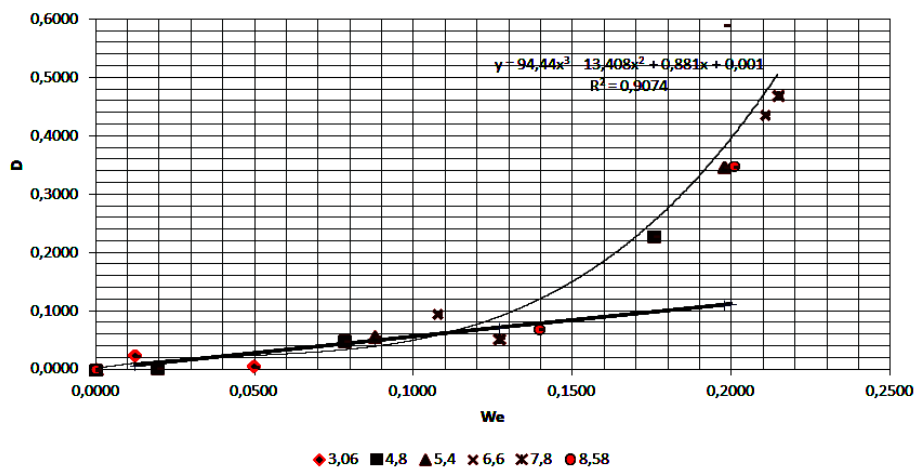


Рисунок 5 – Влияние числа Вебера We на степень деформации D капли воды в касторовом масле: прямая линия – результаты расчета по теории малых деформаций слабопроводящих жидкостей, предложенной Тейлором; маркеры – результаты физического эксперимента для капель разного диаметра

Сравнение полученных результатов с результатами расчета по теории малых деформаций Тейлора, показало их совпадение при числах Вебера менее 0,14. При числах Вебера более 0,14 проявляются явления, связанные с формированием двойных электрических слоев вблизи границы раздела. В этих зонах возникают электрогидродинамические течения и на границу раздела начинают влиять силы, не учтенные в теории малых деформаций Тейлора. В результате экспериментальные данные существенно отклоняются от теоретической зависимости.

Анализ энергозатрат показал, что чем выше неоднородность поля, тем они меньше. Так в системе «острие-спираль» они составляют порядка $1,5 \text{ кВт/м}^3$, тогда как в системе «положительно заряженный электрод между плоскими отрицательно заряженными электродами» порядка $7,0 \text{ кВт/м}^3$. При этом эмульсии получают более мелкодисперсные. Наименьшее время на разрушение капли наблюдается для электродов «острие-кольцо», поскольку разрыву капель в данных условиях способствуют дополнительные электрогидродинамические течения, и преобладает четвертый механизм разрушения капель.

В третьей главе проанализирована микрокинетика процесса разрушения эмульсии со слабопроводящей сплошной средой.

В первом разделе третьей главы исследована микрокинетика процессов для двух и более капель, перемещающихся в слое сплошной фазы при коагуляции и слиянии в электрическом поле. Выполнено *структурирование и анализ факторов влияющих на микрокинетiku* данного процесса.

Предложен следующий *механизм коалесценции капель* в электрическом поле:

- 1) поляризация капель и выстраивание их в виде цепочек капель в направлении силовых линий электрического поля;
- 2) перераспределение объемов воды между каплями в результате соединения их тонкими нитевидными каналами при электрическом пробое и разрушения нефтяной прослойки между ними;
- 3) образование структуры в виде цепочки из капель, заряд по которой переходит к противоположному электроду. В результате она оказывается в некотором квазистабильном положении, соответствующем минимуму свободной энергии.
- 4) дробление нитевидного образования на мельчайшие капли в месте контакта капли с электродом. Именно эта структура, а не капля, касается электрода и через нее передается заряд к капле. Вследствие малого сечения нитевидного образования происходит его разогрев и последующее разрушение силами электрического поля.

Во втором разделе третьей главы выявлено, что в зависимости от частоты электрического поля наблюдается три характерных случая влияния электрического поля на механизм слияния капель при прохождении эмульсии через: 1) постоянное электрическое поле; 2) переменное электрическое поле с частотой ниже критической; 3) переменное электрическое поле с частотой выше критической.

Анализ механизма влияния частоты электрического поля на процесс коалесценции указывает на то, что для каждой водонефтяной эмульсии с определёнными физико-химическими свойствами существует частота, при которой воздействие будет максимальным. Это резонансная частота электрического поля, при которой деформация капли достигает максимальной величины. В этом случае за счёт периодического сжатия и растяжения капли вдоль силовых линий электрического поля происходит разрушение адсорбционного слоя (бронирующей оболочки) на её поверхности и становится возможным слияние капель при их столкновении. Поскольку дисперсность эмульсии меняется со временем, то для оптимальных условий работы аппаратов, необходимо автоматическое регулирование напряжённости и частоты электрического поля на основе результатов численного расчета и экспериментальных данных.

В третьем разделе третьей главы выявлено влияние напряженности электрического поля на механизм слияния капель. Для каждого размера капли существует своя критическая напряженность, при которой она начинает диспергировать. По мере укрупнения капель дисперсной фазы необходимо постепенно снижать величину напряжённости электрического поля и уменьшать скорость течения эмульсии. На первых этапах разрушения эмульсии с высоким содержанием воды целесообразно проводить обезвоживание другими способами, и лишь на последующих стадиях использовать электрогидродинамическую обработку. На различных стадиях электрогидродинамической обработки в зависимости от степени дисперсности системы необходимо изменять напряжённость в зоне электрокоалесцирования.

В четвертом и пятом разделах третьей главы исследовано влияние неоднородности электрического поля и турбулентности на механизм слияния капель воды в нефти в электрическом поле. Показано, что турбулентность способствует перемешиванию эмульсии, сближению капель и увеличивает вероятность успешного слияния капель при контакте. Электрическое поле способствует не только сближению капель, но и разрушению адсорбционных плёнок вокруг капель. Поэтому совмещение обработки эмульсии в электрическом поле с турбулентным режимом ее движения приводит к резкому улучшению качества деэмульсации нефти.

Определен диапазон величин вихрей, в котором процессы электрокоалесценции протекают наиболее интенсивно. Выявлено также, что ускорение процесса разрушения водонефтяных эмульсий за счет турбулентности не всегда приводит к желаемому результату. В случае напряженности электрического поля выше критического значения, необходимого для компенсации короткого времени ближнего контакта, турбулентность может разорвать недавно объединившиеся капли. Поэтому электрокоалесценцию нефти в турбулентном режиме необходимо осуществлять только в самостоятельных аппаратах – электрокоалесценторах, поскольку любые турбулентные возмущения могут существенно нарушить процесс деэмульсации нефти в аппарате.

Таким образом, дополнительная турбулизация потока в процессах электрообессоливания нефти, позволяет существенно интенсифицировать существующие технологии и уменьшить потребление пресной воды. С учетом этого необходимо оптимизировать режимы работы электродегидраторов и изменить их конструкцию. Для расчёта и определения оптимальных конструктивных размеров электрогидродинамического оборудования необходимо совершенствование методов его проектирования и расчета, в том числе с использованием численных методов.

В четвертой главе проведено исследование и разработана методика численного моделирования электрогидродинамических процессов создания и разрушения эмульсий численными методами на микроуровне, позволяющая получить данные по распределению скоростей и изменению топологии границ раздела капель.

В первом разделе четвертой главы разработана математическая модель электрогидродинамических процессов. За основу численного моделирования для описания топологии границы раздела взят метод фазового поля с контролем объема капли, позволяющий рассчитывать процессы слияния и разрушения капли.

Базовой математической моделью для количественного описания электрогидродинамических явлений была система уравнений, впервые сформулированная Г.А. Остроумовым, основанная на уравнениях Максвелла, описывающих электрическое поле; уравнении переноса заряда в жидких средах; уравнении Навье-Стокса, в котором дополнительно учитываются поляризационные силы и сила Кулона, действующие на неравномерно распределенные заряды в объеме сплошных сред и вблизи границ раздела жидкостей и уравнении неразрывности потока с последующим уточнением для конкретных условий:

$$\begin{cases} \nabla \cdot \vec{D} = 4\pi(\sigma_1 + \sigma_2); \\ \vec{i}_e = \vec{E}(\vec{u}_1\sigma_1 + \vec{u}_2\sigma_2) - (\vec{D}_1\nabla\sigma_1 + \vec{D}_2\nabla\sigma_2) + \vec{u}(\sigma_1 + \sigma_2) + \frac{1}{4\pi}(\vec{u} \cdot \nabla)\vec{D}; \\ \nabla \cdot \vec{i}_e = 0; \\ (\vec{u} \cdot \nabla)\vec{u} = -\frac{\vec{p}}{\rho} + \frac{\mu}{\rho}\Delta\vec{u} + \frac{\vec{E}(\sigma_1 + \sigma_2)}{\rho} - \frac{\vec{E}^2}{8\pi\rho}\nabla\varepsilon + \frac{1}{8\pi\rho}\nabla\left(\vec{E}^2\frac{\partial\varepsilon}{\partial\rho}\right); \\ \nabla \cdot \vec{u} = 0. \end{cases}$$

Здесь $\vec{D}$ – электрическая индукция, σ_1 и σ_2 – объемные плотности зарядов.

Во втором разделе четвертой главы представлена методика и результаты исследования на микроуровне процессов разрушения и слияния капель воды в слабопроводящих жидкостях под воздействием электрического поля численными методами в средах COMSOL, Salome, Code Saturne, Elmer.

Численные эксперименты по изучению воздействия электрического поля на гидродинамические характеристики процессов разрушения и слияния капель проводились на модели, созданной в среде COMSOL Multiphysics. С помощью модуля AC/DC Module моделировалось постоянное или переменное электрическое поле в рабочей зоне различной формы и размеров и определялось распределение в пространстве и времени потенциала и напряженности электрического поля. С помощью модуля Microfluidics Module описывалась динамика потока, как в однородной, так и в многофазной жидкости в рабочей зоне под действием различных объемных сил.

Мультифизическая модель двухфазного потока жидкостей под действием гидродинамических и электрических сил в канале между электродами создана на основе уравнений:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho(\vec{u} \cdot \nabla)\vec{u} = \nabla \cdot [-p\vec{I} + \eta(\nabla\vec{u} + (\nabla\vec{u})^T)] + \vec{F}_{st} + \rho\vec{g} + \vec{F}_1; \\ \nabla \cdot \vec{u} = 0; \\ -\nabla \cdot (\varepsilon_0\varepsilon_r\nabla V) = 0, \end{cases}$$

в разделах Electrostatics (es) и Laminar Two-Phase Flow, Phase Field (tpf).

Здесь $\vec{u}$ – вектор скорости потока (м/с); ρ – плотность (кг/м³); η – динамическая вязкость (Па·с); p – давление (Па); $\vec{g}$ – ускорение свободного падения (м/с²); $\vec{F}_{st}$ – сила поверх-

ностного натяжения (Н/м³); $\vec{F}_1$ – дополнительная объемная сила (Н/м³); ε_0 – диэлектрическая постоянная вакуума; ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость среды.

Связь между модулями осуществлялась через объемную силу $\vec{F}_1$, входящую в уравнение Навье – Стокса, определяемую в базовом случае как электрическую поляризационную силу в виде дивергенции тензора напряжений Максвелла

$$\vec{F}_1 = \nabla \cdot \mathbf{T}.$$

Тензор напряжений Максвелла $\mathbf{T}$ определялся по формуле

$$\mathbf{T} = \vec{E}\vec{D}^T - \frac{1}{2}(\vec{E} \cdot \mathbf{T})\vec{I},$$

где $\vec{E} = -\nabla \cdot V$ – напряженность электрического поля; $\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}$ – электрическая индукция поля.

В двухмерных моделях тензор Максвелла определялся как:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_{xx} & \mathbf{T}_{xy} \\ \mathbf{T}_{yx} & \mathbf{T}_{yy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}_x^2 - \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r (\vec{E}_x^2 + \vec{E}_y^2) & \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}_x \vec{E}_y \\ \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}_y \vec{E}_x & \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}_y^2 - \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r (\vec{E}_x^2 + \vec{E}_y^2) \end{bmatrix}.$$

Модель COMSOL Multiphysics учитывает только поляризационные силы, рассчитанные через тензор Максвелла. Однако, результаты численного моделирования по ней процесса электрокоалесценции двух капель воды в потоке нефти, показали, что их деформация происходит поперек силовых линий поля. Это противоречит результатам физического эксперимента и объясняется действием силы Кулона, превышающей величину поляризационных сил. Поэтому в ходе дальнейших расчетов для учета совместного влияния сил Кулона и поляризационных сил в модель Electrocoalescence из библиотеки моделей «Model Library» COMSOL Multiphysics, была дополнительно введена сила Кулона.

Сила Кулона вводилась в базовую модель в виде силы $\vec{F}_2$ в уравнении Навье – Стокса. Она определялась исходя из следующих предположений. В режиме постоянного тока выполняется закон Ома $\vec{j} = \sigma \vec{E}$, и так как $\text{div } \vec{j} = 0$, то $\sigma \text{div } \vec{E} + E \text{grad } \sigma = 0$. С учетом закона Остроградского – Гауса $q = \varepsilon \varepsilon_0 \text{div } \vec{E}$:

$$q = - \left(\frac{\varepsilon}{\sigma_e} \right) \cdot \vec{E} \nabla \sigma_e,$$

откуда следует, что неоднородная по удельной электропроводности среда, в электрическом поле, теряет электронейтральность и действует сила Кулона, равная

$$\vec{F}_2 = q \vec{E} = - \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}^2}{\sigma_e} \nabla \sigma_e.$$

Введение этой силы в исходную систему привело к следующей модели:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho(\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = \nabla \cdot [-p\vec{I} + \eta(\nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T)] + \vec{F}_{st} + \rho \vec{g} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2; \\ \nabla \cdot \vec{u} = 0; \\ -\nabla \cdot (\epsilon_0 \epsilon_r \nabla V) = 0. \end{cases}$$

В третьем разделе четвертой главы представлены результаты численного моделирования электрогидродинамических процессов создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей средой на микроуровне.

Проведен численный эксперимент, в котором изучалась деформация капель в электрическом поле для разных пар жидкостей, исследованных в диссертации, и для которых в литературе представлены данные физических экспериментов. Рассмотрено деформирование капель, как в вытянутый, так и сплюснутый сфероид. Получены зависимости относительной деформации капли от критерия Вебера. Результаты численного моделирования в среде COMSOL Multiphysics процесса разрушения капель воды различной электропроводности под воздействием электрического поля и распределение поля скоростей представлены на рисунке 6.

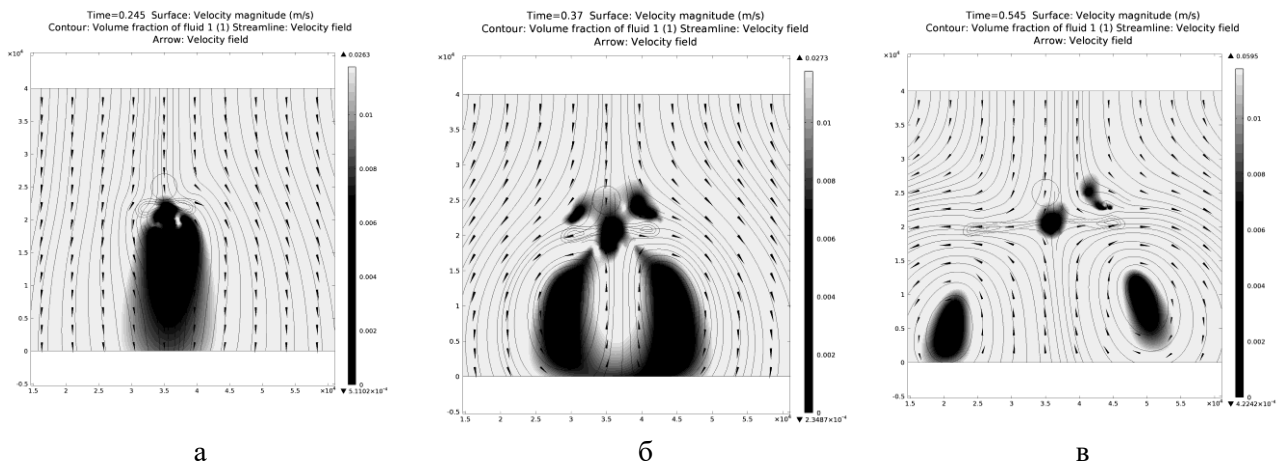


Рисунок 6 – Поле скоростей, полученное в результате численного моделирования процесса разрушения капель воды с электропроводностью $3 \cdot 10^{-4}$ (Ом·см)–1 в касторовом масле, исходный диаметр капли 4 мм: а – 0,245 с; б – 0,37 с; в – 0,545 с

Результаты, полученные автором в ходе численного моделирования, сравнивались с результатами аналитических расчетов по теории малых деформаций Тейлора. Для определения адекватности разработанной модели для описания процессов разрушения или слияния капель решалась тестовая задача: влияние напряженности электрического поля на степень деформации капли оценивалось в виде зависимости между степенью деформации капли D и числом Вебера We (рис.7). Из представленных на рисунке 7 данных видно, что предложенная численная модель (точки на графике) соответствует результатам расчета по теории малых деформаций (линии), т.е. численное моделирование при малых деформациях адекватно описывает деформацию капли, а также сближение капель до момента их коагуляции и/или столкновения в электрическом поле.

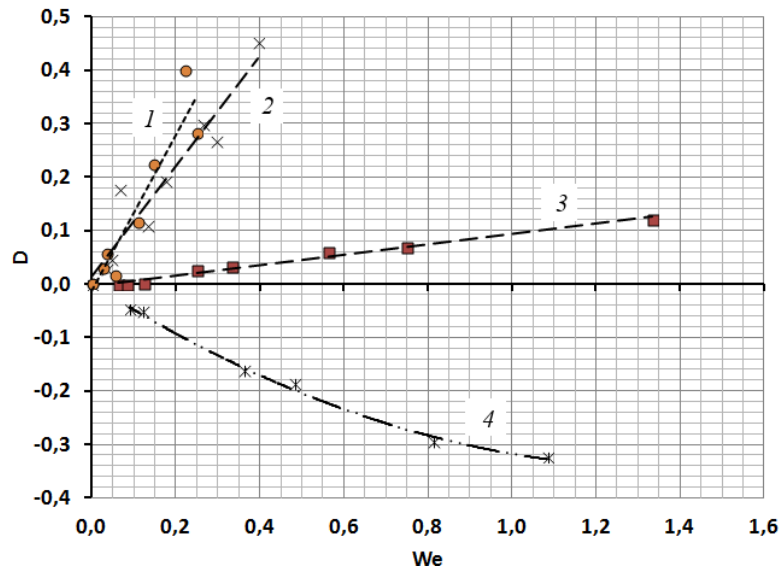


Рисунок 7 – Влияние числа Вебера We на степень относительной деформации D . Маркеры результаты численного эксперимента для разных пар жидкостей: КМ+СМ5000 – капли касторового масла в силиконовом масле 5000; 1 – капли воды в масле Юкон; 2 – капли воды в касторовом масле; 3 – капли масла Юкон в силиконовом масле 5000; 4 – пример деформации поперек силовых линий поля

Выявлено влияние напряженности электрического поля, геометрии рабочей зоны, диэлектрической проницаемости и электропроводности, а также, размеров капель, вязкости, поверхностного натяжения и плотности рабочих сред на время коалесценции дисперсной фазы в слабопроводящих сплошных средах. Установлено, что в переменном электрическом поле промышленной частоты процесс слияния капель в диффузорах протекает медленнее, чем в постоянном электрическом поле. В конфузорах и в каналах в переменном электрическом поле процесс ускоряется по мере роста напряженности. Это указывает на преимущество применения переменного электрического поля, по сравнению с постоянным, для каналов постоянного сечения и сужающихся каналов (рис. 8).

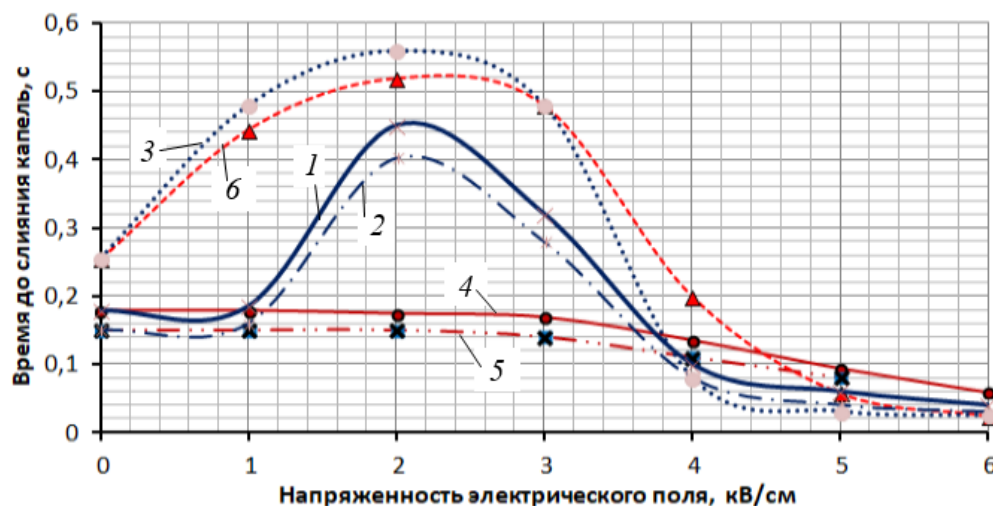


Рисунок 8 – Влияние напряженности электрического поля и формы канала на среднее время до слияния капель: в постоянном электрическом поле в канале постоянного сечения (1), в конфузоре (2), в диффузоре (3); в переменном электрическом поле в канале постоянного сечения (4), в конфузоре (5), в диффузоре (6)

Исследование влияния угла раскрытия рабочей зоны электродегидрататора и скорости течения эмульсии на скорость ее разрушения, показало, что с его увеличением время на слияние капель сокращается. Для сужающейся рабочей зоны электродегидрататора, т.е. в конфузоре, с увеличением скорости протекания эмульсии время, необходимое для слияния капель увеличивается. Минимальное время слияния капель наблюдается в диффузоре при скоростях течения эмульсии от 10 мм/с до 20 мм/с.

В пятой главе проведено исследование электрогидродинамических процессов на макроуровне на примере электрообессоливающей установки (ХТС ЭЛОУ). Разработана обобщенная **методика синтеза** химико-технологической системы электрообессоливания нефти с оптимальными удельными расходами сырья.

На основе методологии системного анализа, рассмотрены процессы, составляющие ХТС ЭЛОУ, и проведена её декомпозиция на подсистемы и элементы с выявлением их устойчивых взаимоотношений и выделением основных внутренних факторов. ЭЛОУ рассматривалась как совокупность процессов и аппаратного оформления, используемых при обессоливании нефти, процессов создания и разрушения эмульсий. В результате декомпозиции для каждой из ступеней ХТС-ЭЛОУ выделен ряд взаимосвязанных подсистем и построена схема, представленная на рисунке 9. При этом каждая из этих представленных на рисунке подсистем допускает дальнейшую детализацию.

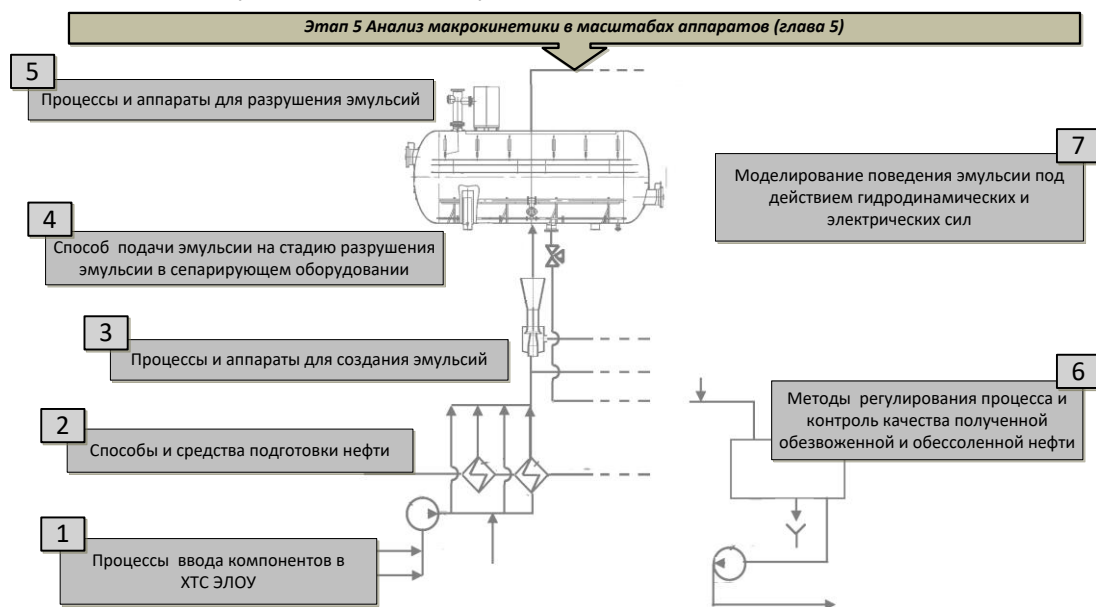


Рисунок 9 – Подсистемы составляющие ХТС-ЭЛОУ

Анализ процессов ввода компонентов в ХТС ЭЛОУ 9 (подсистема №1) позволил сделать вывод, что независимо меняющимся объектом исследования в ней является исходная водонефтяная эмульсия из-за нестабильности её свойств во времени. Важным компонентом подсистемы являются исследования по изучению структуры и дисперсного состава эмульсии, по результатам которых получают параметры модели среды.

Анализ процессов и оборудования для создания эмульсий, представленных подсистемой №3 (рис. 10), показал, что для полного вымывания солей необходимо обеспечить тесный контакт между каплями содержащейся в нефти соленой воды и промывной воды.

Проведен подробный сравнительный анализ существующих конструкций электродегидраторов и их систематизация, рассмотрены пути повышения их эффективности и основные направления модернизации.

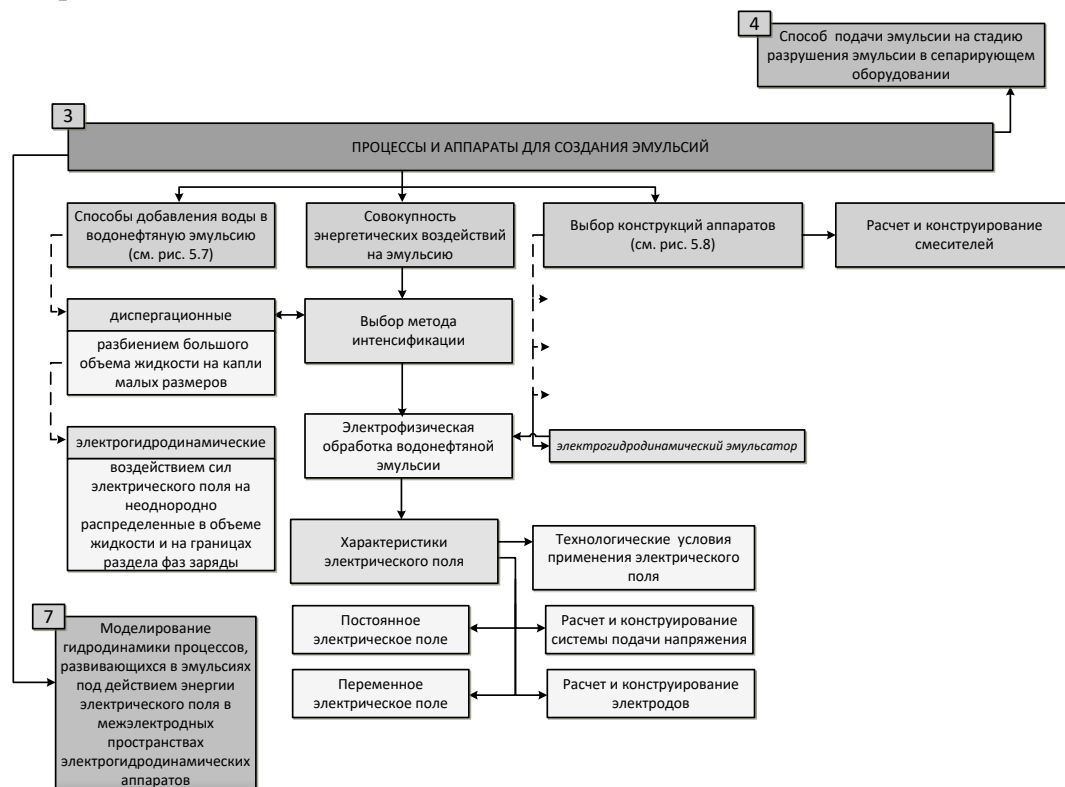


Рисунок 10 – Подсистема №3 «Процессы и аппараты для создания эмульсий»

Исследование процессов и аппаратов для разрушения водонефтяных эмульсий в электрическом поле (рис.11) выявило, что для совершенствования процессов электродиспергирования и электрокоалесценции и оборудования для их осуществления необходимо сократить продолжительность лимитирующих стадий процессов, уменьшить энергозатраты, увеличить производительности и коэффициент полезного действия, улучшить экологические характеристики оборудования и др. Для этого необходимы надежные методы расчета процессов, протекающих в данных аппаратах, позволяющие уже на стадии проектирования давать надежную количественную оценку, и обоснованно выбирать геометрические размеры аппаратов.

В шестой главе представлены результаты моделирования и инженерного проектирования технологического оборудования для создания и разрушения эмульсий в электрическом поле.

В первом разделе шестой главы разработана инженерная методика исследования и расчета электрогидродинамических аппаратов, позволяющая, на основании численных расчетов на всех стадиях проектирования обоснованно выбирать форму, размеры рабочей зоны и взаимное расположение электродов во вновь создаваемых конструкциях и оптимизировать конструкцию и режимы работы существующих электрогидродинамических аппаратов. Приведены результаты разработки конструкции электрокоалесцентора-смесителя для получения эмульсии воды в нефти.

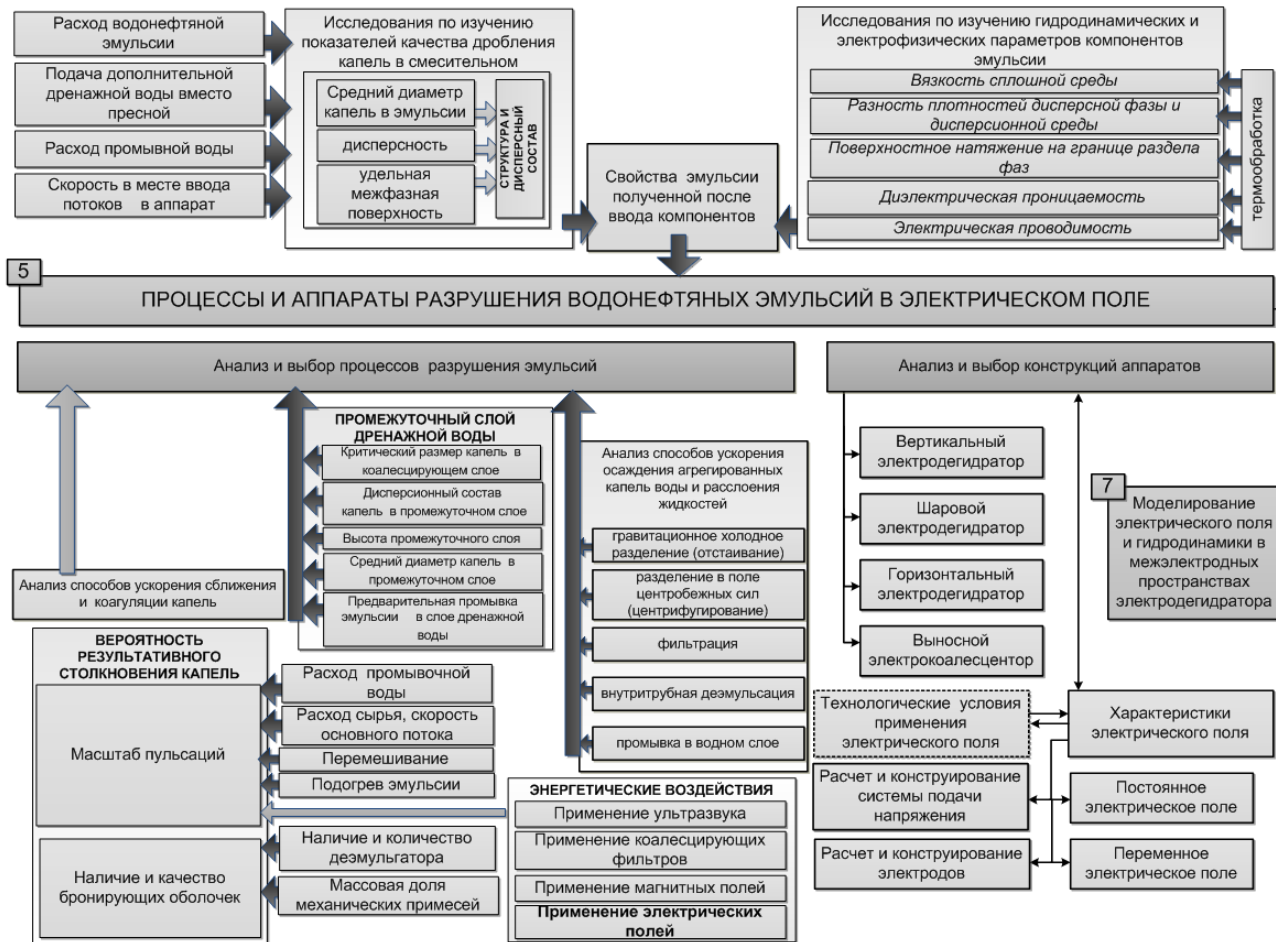


Рисунок 11 – Подсистема №5 «Процессы и аппараты для разрушения водонефтяных эмульсий в электрическом поле»

Во втором разделе шестой главы разработана численная модель определения гидродинамики течения жидкостей в электрогидродинамических смесителях и дегидрататорах на макроуровне в средах *Salome-MECA*, *Code Saturne*, *Elmer FEM* и *Paraview*.

Возможность использования указанных программ для численного моделирования гидродинамики потоков в рабочем пространстве смесителей, проверялась на решении тестовой задачи. Моделировалось течение несжимаемой вязкой жидкости в цилиндрической трубе с гидравлически гладкими стенками длиной 13 м и диаметром 150 мм при различных скоростях потока, а, следовательно, числах Рейнольдса. Результаты численных расчетов коэффициента гидравлического трения трубы λ от числа Рейнольдса Re сравнивались с результатами их аналитических расчетов по известным зависимостям Пуазейля, Блазиуса, Никурадзе.

По результатам численного моделирования определялся перепад давления в трубе в диапазоне чисел Рейнольдса Re от 10^3 до 10^7 , далее рассчитывался коэффициент гидравлического трения трубы $\lambda = \Delta p_{mp} \frac{d_o}{L} \frac{2}{\bar{u}^2 \rho}$, где Δp_{mp} – перепад давления в трубе, Па; L , d_o – длина и эквивалентный диаметр трубы, м.

Полученные результаты сравнивались с коэффициентом гидравлического трения трубы, рассчитанном по формулам: Пуазейля для ламинарного течения при числах Re до

2300; Блазиуса для турбулентного течения при Re от $4 \cdot 10^3$ до 10^5 ; Никурадзе для турбулентного течения при $Re > 10^5$. В диапазоне чисел Re от 2300 до 4000, сравнение не проводилось. На рисунке 12 представлено сравнение результатов численных расчетов в исследованном диапазоне значений числа Рейнольдса с результатами аналитических расчетов.

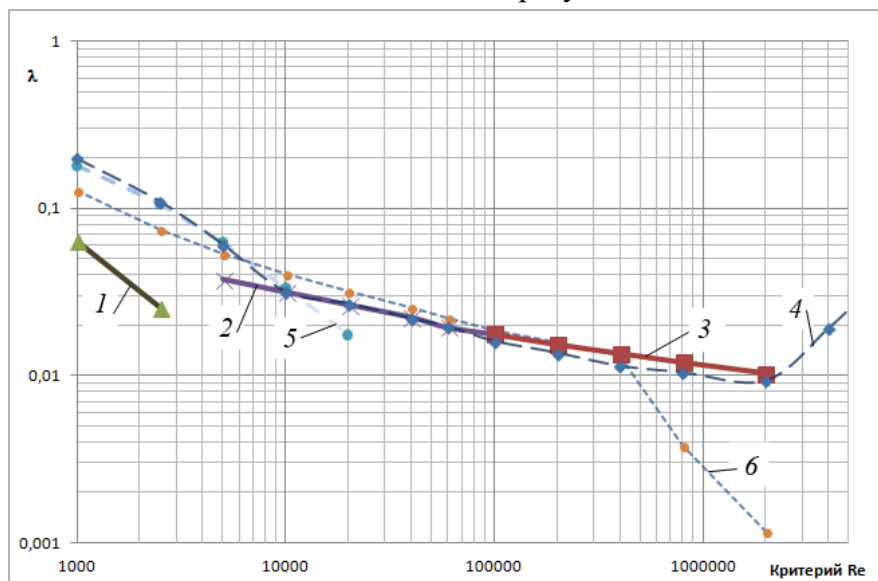


Рисунок 12 – Зависимость коэффициента гидравлического трения трубы λ от критерия Рейнольдса Re .

- Результаты аналитического расчета для: 1 – ламинарного течения по формуле Пуазейля;
 2 – турбулентного течения по формуле Блазиуса; 3 – турбулентного течения по формуле Никурадзе.
 Результаты численного расчета по: 4 – турбулентной k - ω SST модели; 5 – ламинарной модели;
 6 – турбулентной k - ϵ модели

Результаты показали, что при числах Re до 2300 численные расчеты по рассмотренным моделям дают завышенные результаты по сравнению с расчетом по формуле Пуазейля. При значениях числа Re от $7 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^6$ наиболее близкие результаты, по сравнению с аналитическим расчетом по формуле Блазиуса, позволяет получить численное моделирование по турбулентной k - ω SST модели. При числах Рейнольдса более $2 \cdot 10^6$ результаты численного расчета по турбулентной k - ω SST модели резко отклоняются от аналитического расчета по формуле Никурадзе. Турбулентная k - ϵ модель согласуется с результатами аналитического расчета по формуле Никурадзе до чисел Рейнольдса $7 \cdot 10^5$, но при этом дает большие отклонения по сравнению с k - ω SST моделью.

В третьем разделе шестой главы представлены результаты численного моделирования влияния конструктивных параметров и режимных факторов на поля скоростей, давления, кинетической энергии турбулентности для различных конструкций смесителей и коалесценторов. Получены данные по влиянию конструктивных параметров и режимных факторов на поля скорости, давления, кинетической энергии турбулентности, напряженности электрического поля и использовать их при проектировании для обоснованного выбора геометрии рабочей зоны электрогидродинамических смесителей и коалесценторов. Для сравнения интенсивности процессов смешения в рассматриваемых конструкциях определялся перепад давления между сечением ввода основного потока и сечением на выходе из аппарата. Зависимость потери давления в рассматриваемых аппаратах от скорости основного потока представлена на рисунке 13.

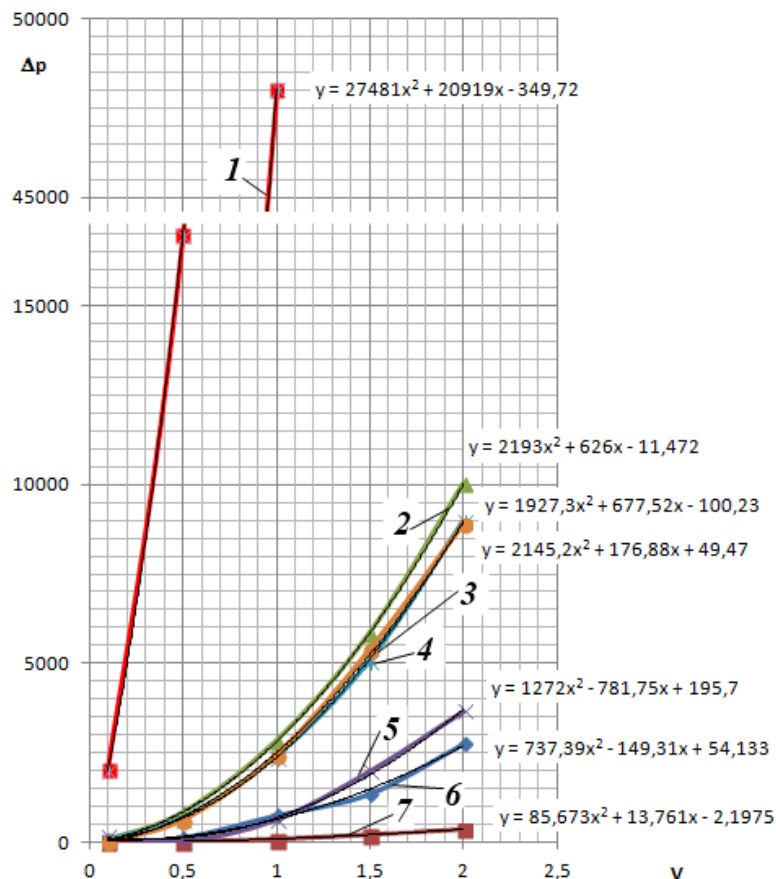


Рисунок 13 – Потеря давления в аппарате Δp от скорости основного потока v для: трехходового регулирующего смесительного клапана (1); смесителя ПР-1 (2); коалесцентора-смесителя КС-02н (3); коалесцентора-смесителя КС-02в (4); смесителя нефти с пресной водой СПВ (5); малогабаритного трубчатого аппарата МТА (6); смесителя нефти с водой СНВ (7)

По результатам численного моделирования производилась оценка отношения потери давления в результате гидравлического сопротивления в электрогидродинамическом аппарате $\Delta p_{\text{смесителя}}$ к потере давления в пустой трубе $\Delta p_{\text{тр}}$ и рассматриваемые аппараты сравнивались по количеству затраченной энергии. Зависимость коэффициента гидравлического трения трубы от критерия Рейнольдса представлена на рисунке 14.

Анализ полученных данных показал, что наибольшие потери наблюдаются у трехходового смесительного клапана. Наименьшие потери энергии из сравниваемых конструкций наблюдаются у смесителя нефти с водой СНВ. Присутствие максимума или минимума на графиках зависимости коэффициента гидравлических потерь от критерия Рейнольдса, рассчитанного по показателям основного потока, объясняется наличием в смесительном устройстве эффекта инжекции или эжекции.

В четвертом разделе шестой главы представлены результаты разработки новых конструкций аппаратного оформления процессов электрообезвоживания и электрообессоливания нефти с позиций энерго- и ресурсосбережения на основе анализа влияния конструктивных и режимных параметров на гидродинамику течения жидкостей в электрогидродинамических смесителях и дегидрататорах в полях массовых и поверхностных гидродинамических и электрических сил.

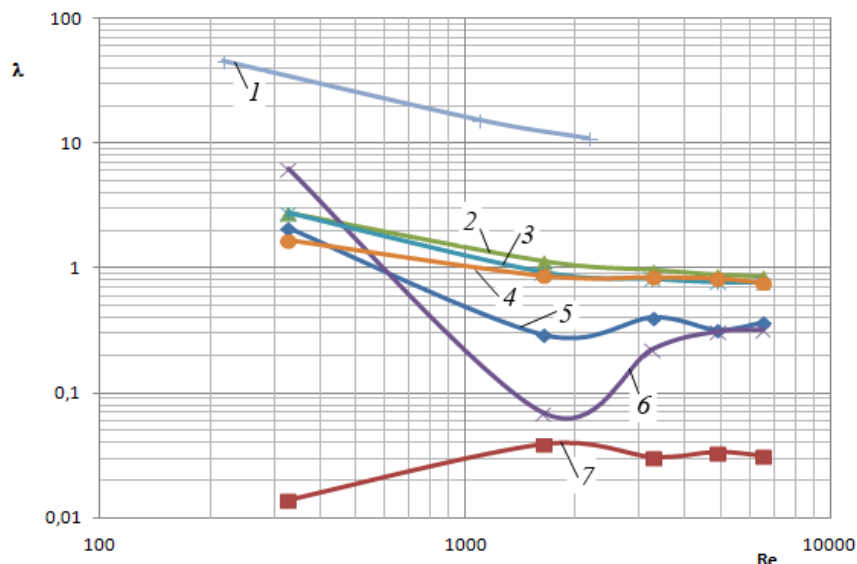


Рисунок 14 – Зависимость коэффициента гидравлических потерь λ от критерия Рейнольдса Re для: 1 – смесительного клапана; 2 – смесителя ПР-1; 3 – коалесцента-смесителя КС-01; 4 – коалесцента-смесителя КС-02н; 5 – малогабаритного трубчатого аппарата МТА; 6 – смесителя нефти с пресной водой СПВ; 7 – смесителя нефти с водой СНВ

Разработаны, в программах Salome, CodeSaturne, Elmer и COMSOL Multiphysics, трехмерные математические модели электрогидродинамических течений технологической среды, протекающих в межэлектродной зоне электрогидродинамических устройств под действием гидродинамических и электрических сил (макрокинетика). Численное моделирование поля скоростей и электрического поля позволило рассчитать поле скоростей, электрическое поле и распределение давления внутри электродегидратора и электрокоалесцента-смесителя с учетом влияния конструкции аппарата, гидродинамических параметров и электрофизических свойств контактирующих жидкостей. В результате выбраны форма, размеры и взаимное расположение электродов и осадительных полок дополнительной системы электродов для вновь разрабатываемых электродегидраторов, и предложены варианты модернизации существующих электродегидраторов.

Показано, что смеситель инжекторного типа с рабочей зоной аналогичной малогабаритным трубчатым аппаратам, и дополнительно установленной системой электродов, позволяет интенсифицировать процессы вначале диспергирования воды в нефти, а затем и коалесценции капель. Диспергирование свежей воды в нефти происходит под действием инерционных сил и сил электрического поля, действующих непосредственно на границы раздела жидкостей. Разрушение бронирующих оболочек на каплях воды, в электрическом поле, способствует последующей их коалесценции. В конструкции нет подвижных элементов, и высоковольтный электрод легко монтируется в заземленном корпусе.

Результаты моделирования электрического поля показали, что для повышения эффективности и снижения энергозатрат процесса электрообессоливания в электродегидраторе необходимы три ступени контакта с различной гидродинамикой потока эмульсии и напряженностью электрического поля (рисунок 15). На конструкцию был получен патент.

В пятом разделе шестой главы рассмотрены критерии на микро- и макроуровнях для сравнения показателей качества работы смесителей, электродиспергаторов и электрокоалесценторов.

Критерием на микроуровне для определения интенсивности процессов создания и разрушения эмульсий является время, достаточное для разрыва одиночной капли и/или для слияния двух капель воды сопоставимых размеров в нефти в контролируемых условиях.

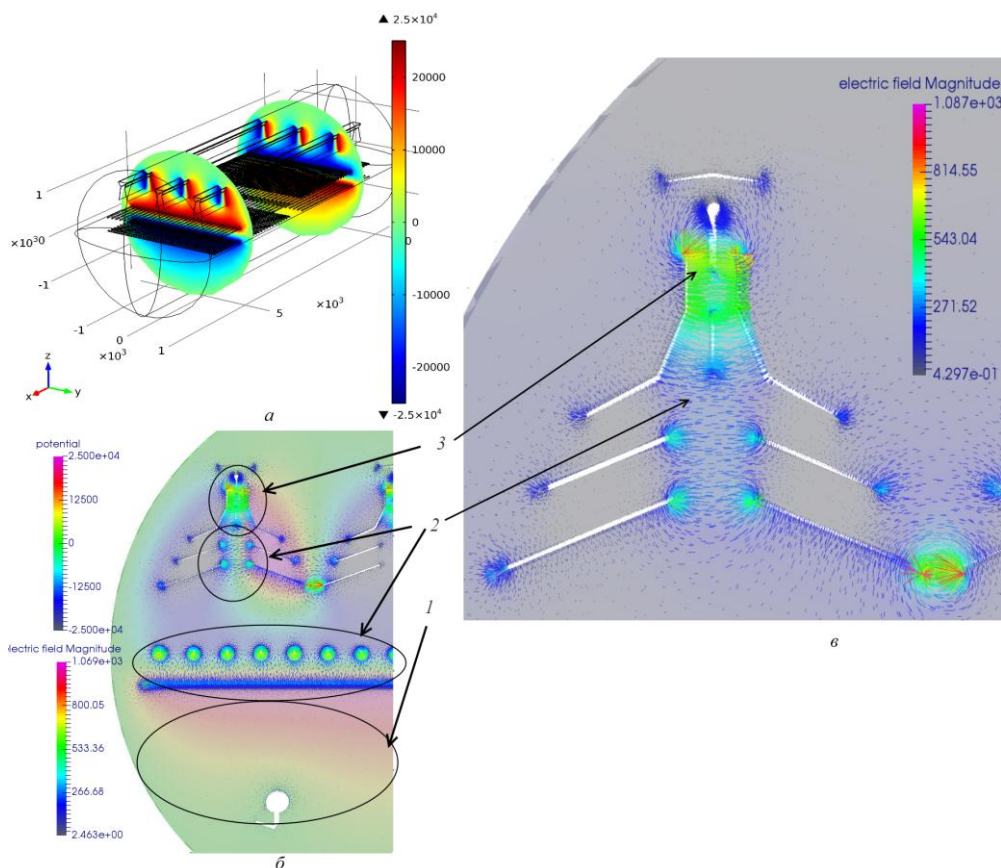


Рисунок 15 – Распределение электрического потенциала: а - объеме; б – сечении рабочего пространства; в - сечении дополнительной системы электродов модернизированного электродегидратора; 1 - осаждение капель в ламинарном режиме и расслоение эмульсии на нефть и воду; 2 – слияние капель в потоке; 3 - диспергирование, коалесценция и смешение в турбулентном потоке под действием электрического поля высокой напряженности

Критериями на макроуровне для определения интенсивности процессов создания и разрушения эмульсий в электрогидродинамических аппаратах являются: отношение диссипации энергии в результате гидравлического сопротивления в электрогидродинамическом аппарате к диссипации энергии за счет гидравлического сопротивления в пустой трубе; отношение потери давления в результате гидравлического сопротивления в электрогидродинамическом аппарате к потере давления в пустой трубе. Критерием для определения эффективности процессов создания и разрушения эмульсий на макроуровне является степень разделения водонефтяных эмульсий.

В шестом разделе шестой главы сформирован обобщенный критерий оценки и сравнения процессов и аппаратов создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей

сплошной средой. Показано, что на практике для оценки и сравнения электрообессоливающих установок нашел применение обобщенный критерий практической оптимальности - минимум удельных затрат на обезвоживание. Выбран интегральный критерий, обобщающий все уровни вертикальной декомпозиции ЭЛОУ, позволяющий определить оптимальные значения параметров данных в электрогидродинамических аппаратах при соблюдении принципа Парето.

В приложении приведены акты внедрения предложенных методик расчета и разработанных на их основе конструкций электрогидродинамических диспергаторов и дегидраторов на предприятиях отрасли, в научно-исследовательских организациях и в учебном процессе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Общий итог работы состоит в том, что в результате рассмотрения с единых позиций теорий создания и разрушения эмульсии со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле разработана методология изучения процессов электродиспергирования и электрокоалесценции, позволяющая совершенствовать существующее и проектировать вновь создаваемое оборудование для технологического процесса электрообессоливания с позиций энерго- и ресурсосбережения.

При решении поставленных задач получены следующие результаты:

1. Разработана методология исследования процессов и проектирования оборудования создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрическом поле, объединяющая исследования на микро- и макроуровнях системы в единый взаимосвязанный комплекс. Методология позволяет рассмотреть всю совокупность процессов протекающих при создании и разрушении эмульсий с позиций системного анализа и кибернетического подхода, используя методы физического и математического моделирования, и разрабатывать новые конструкции электрогидродинамических устройств.

2. Проанализированы и систематизированы факторы интенсифицирующие процессы диспергирования и деэмульсации. Доказано, что наиболее рациональным с позиций ресурсо- и энергосбережения методом интенсификации процессов создания и разрушения водонефтяных эмульсий является воздействие силами электрического поля, влияющего на объемные и поверхностные заряды, расположенные непосредственно вблизи границы и на границе раздела двух жидкостей. Это позволяет при малых энергозатратах получить существенный экономический эффект.

3. Систематизирована структура явлений, эффектов и процессов, происходящих при диспергировании и деэмульсации. Предложена пятиступенчатая иерархическая структура процессов диспергирования и деэмульсации в электрическом поле. Физическая сущность совокупности процессов диспергирования и деэмульсации на уровне микрокинетики представлена первыми четырьмя ступенями структуры, макрокинетика процессов на пятой ступени иерархии.

4. Выполнен анализ и структурирование микрокинетики процесса деформации и разрушения капли в отсутствии и в присутствии электрического поля. Выявлено, что в от-

сутствии энергетического поля основными гидродинамическими факторами, оказывающими влияние на процессы разрушения капель дисперсной фазы в слабопроводящей дисперсионной среде, являются неоднородное поле скоростей и турбулентность.

5. Исследованы механизмы поведения границы раздела жидкостей и особенности деформации, разрушения капель воды в слабопроводящих средах в полях массовых и поверхностных гидродинамических и электрических сил, которые позволили определить физическую сущность электрогидродинамических эффектов, характер распределения зарядов вблизи границ раздела и электрогидродинамической конвекции. Впервые показано, что механизм разрушения капель воды в слабопроводящих жидкостях зависит, в том числе, и от их размеров. Предложены два новых механизма деформации и разрушения капель, расширяющих существующую классификацию.

6. На основании уравнений Максвелла, Навье – Стокса и неразрывности потока, *разработана математическая модель* деформации, разрушения и слияния капель воды в слабопроводящих средах, которая учитывает влияние сил Кулона и поляризационных сил и позволяет определить влияние гидродинамических и электрофизических параметров (напряженности электрического поля, конфигурации рабочей зоны, диэлектрической проницаемости и электропроводности, размеров капель, вязкости, поверхностного натяжения и плотности рабочих сред) на время разрушения и слияния капель в слабопроводящих средах.

7. Разработана обобщенная **методика синтеза** химико-технологической системы электрообессоливания нефти с оптимальными удельными расходами сырья.

8. На основе системного анализа химико-технологических процессов, происходящих в аппаратах для создания и разрушения эмульсий на макроуровне (макрокинетики процессов), основных положений теорий гидромеханики и электрофизики, теоретических и экспериментальных исследований нестационарных процессов создания и разрушения водонефтяных эмульсий в электрических полях *разработана инженерная методика исследования и расчета электрогидродинамических аппаратов*, позволяющая, на основании численных расчетов на всех стадиях проектирования обоснованно выбирать форму, размеры рабочей зоны и взаимное расположение электродов во вновь создаваемых конструкциях и оптимизировать конструкцию и режим работы существующих электрогидродинамических аппаратов.

9. Разработана в среде Salome, CodeSaturne, Elmer и COMSOL Multiphysics *численная модель определения гидродинамики* течения жидкостей в электрогидродинамических смесителях и дегидрататорах в полях массовых и поверхностных гидродинамических и электрических сил. Модели позволяют рассчитать поле скоростей, электрическое поле и распределение давления внутри электродегидрататора и электрокоалесцентора-смесителя и учитывают влияние гидродинамических параметров конструкции и электрофизических свойств контактирующих жидкостей на процессы создания и разрушения водонефтяной эмульсии.

10. Получены, на основе численного моделирования, данные по влиянию конструктивных параметров и режимных факторов на поля скорости, давления, кинетической энер-

гии турбулентности, напряженности электрического поля и использование их при проектировании для обоснованного выбора геометрии рабочей зоны электрогидродинамических смесителей и коалесценторов. Модернизация смесителя в соответствии с разработанными рекомендациями путем изменения зоны контакта, за счет дооборудование его дополнительной системой электродов, позволила повысить однородность смешения нефти с промывной водой и уменьшить ее удельный расход. В результате модернизации на 12 % снижены суммарные энергозатраты, за счет существенного снижения перепада давления на смесителе.

11. Разработаны и запатентованы новые конструкции электродиспергатора, электрокоалесцентора и электродегидратора для эффективного проведения процессов создания и разрушения неоднородных дисперсных систем с нестабильной дисперсной фазой в электрическом поле, обеспечивающие ресурсосбережение, высокую эффективность и удельную производительность. Модернизация электродегидратора ЭГ-160 предложенным способом, позволила интенсифицировать производственный процесс, уменьшить расход промывочной воды в 2,5 раза и довести его до 1% подачи нефти.

12. Предложены взаимосвязанные критерии оценки на микро- и макроуровнях интенсивности и эффективности процессов создания и разрушения эмульсий со слабопроводящей сплошной средой в электрогидродинамических аппаратах. На микроуровне интенсивность процессов определяется временем, достаточным для разрыва одиночной капли и/или для слияния двух капель воды сопоставимых размеров в нефти в контролируемых условиях. На макроуровне эффективность процессов определяется степенью разделения водонефтяных эмульсий. Интенсивность процессов на макроуровне определяется отношением диссипаций энергии. Предложенные критерии позволяют сопоставить варианты проведения процессов в этих аппаратах и выбрать рациональные варианты конструктивного оформления процессов создания и разрушения эмульсий в электрическом поле.

Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы:

В качестве перспективы для дальнейшего исследования рассмотренной выше проблемы, можно предложить более детальное изучение влияния электропроводности материала электрода, на процессы создания и/или разрушения эмульсий.

С научной точки зрения, интересно также, исследование электрогидродинамических процессов при переходе от ламинарного режима течения жидкости к турбулентному. Это позволит определить степень влияния турбулентности на процессы создания и/или разрушения эмульсий.

Разработанная в диссертации методология изучения и проектирования процессов создания и разрушения слабопроводящих эмульсий в электрическом поле, применительно к электрообессоливающим установкам, по мнению автора, может быть применена при изучении и проектировании других установок нефтехимии, а также химических установок.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Публикации в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ для изложения результатов докторских диссертаций:

1. Таранцев, К.В. Алгоритм расчета электрогидродинамического эмульгатора / К.В. Таранцев, К.Р. Таранцева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2001. – №11. – С. 7–8.
2. Таранцев, К.В. Конструкции электрогидродинамических эмульгаторов / К.В. Таранцев, К.Р. Таранцева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2002. – № 8. – С. 7–8.
3. Таранцев, К.В. Оптимизация параметров электрогидродинамических эмульгаторов / К.В. Таранцев, К.Р. Таранцева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2002. – № 10. – С. 6 – 7.
4. Таранцев, К.В. Исследование электрогидродинамических течений сред на границе раздела фаз газ — жидкость / К.В. Таранцев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2009. – № 11. – С. 8–10.
5. Таранцев, К.В. Исследование электрогидродинамических течений на плоской границе раздела фаз жидкость— жидкость / К.В. Таранцев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2010. – № 2. – С. 7 – 9.
6. Таранцев, К.В. Электрогидродинамические эффекты на границе раздела фаз жидкость — жидкость при использовании стеклянных перегородок между электродами / К.В. Таранцев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2010. – № 3. – С. 8 – 11.
7. Таранцев, К.В. Исследование процесса разрушения капель воды в слабопроводящих жидкостях под воздействием электрического поля / К.В. Таранцев, А.В. Коростелева // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. Серия Физико-математические и технические науки. – 2011. – № 26. – С. 666 – 671.
8. Таранцев, К.В. Моделирование процесса электрокоалесценции капель воды в нефти при различной геометрии электродов / К.В. Таранцев, Е.Г. Красная, А.В. Коростелева // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. Серия Физико-математические и технические науки. – 2011. – № 26. – С. 641 – 645.
9. Таранцев, К.В. Расчет распределения напряженности в межэлектродном пространстве электрогидродинамических устройств численными методами / К.В. Таранцев, Е.Г. Красная, А.В. Коростелева // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. Серия Физико-математические и технические науки. – 2011. – № 26. – С. 654 – 660.
10. Таранцев, К.В. Моделирование процессов в межэлектродном пространстве электрогидродинамических устройств / К.В. Таранцев, Е.Г. Красная, А.В. Коростелева // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. Серия Физико-математические и технические науки. – 2011. – № 26. – С. 661 – 665.
11. Таранцев, К.В. Планирование эксперимента исследования процесса диспергирования воды в темных нефтепродуктах / К.В. Таранцев, А.В. Коростелева // Научно-методический журнал XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. Серия: экология. – 2012. – 02(06). – С. 103 – 108.
12. Таранцев, К.В. Влияние размера капель воды на критическое напряжение начала их разрушения в эмульсиях / К.В. Таранцев, А.В. Коростелева // Научно-методический жур-

- нал XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. Серия: экология. – 2012. – 02(06) . – С. 138 – 142.
13. Таранцев, К.В. Способы совершенствования конструкций горизонтальных электродегидраторов / К.В. Таранцев, Е.Г. Красная // Научно-методический журнал XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего Серия: экология. – 2012. – 02(06) . – С. 146 – 152.
 14. Таранцев, К.В. Способы повышения эффективности электродегидраторов / К.В. Таранцев, И.А. Прошин // Научно-методический журнал XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. Серия: экология. – 2012. – 02(06) . – С. 162 – 166.
 15. Таранцев, К.В. Системная организация научных исследований экосистем / И.А. Прошин, П.В. Сюлин, К.В. Таранцев // Научно-методический журнал XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. Серия: экология. – 2012. – 02(06) . – С. 166 – 170.
 16. Таранцев, К.В. Переработка нефтешламов с использованием электродиспергирования / К.В. Таранцев, А.В. Коростелева // Безопасность в техносфере. – 2012. – №5. – С. 60 – 63.
 17. Таранцев, К.В. Топливные водонефтяные эмульсии как способ утилизации нефтесодержащих вод / К.В. Таранцев, А.В. Коростелева // Экология и промышленность России. – 2013. – № 2. – С. 2 – 5.
 18. Таранцев, К.В. Исследование закономерностей процесса электрогидродинамического диспергирования воды в нефтепродуктах / К.В. Таранцев, А.В. Коростелева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2013. – № 2. – С. 20 – 23.
 19. Таранцев, К.В. Оптимизация конструкции смесителя эжекторного типа для создания топливных эмульсий в электрическом поле / К.В. Таранцев, А.В. Коростелева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2013. – № 3. – С. 22 – 25.
 20. Таранцев, К.В. Исследование процесса разрушения водонефтяных эмульсий в электрическом поле / К.В. Таранцев, Е.Г. Красная, В.А. Чирков, И.А. Ашихмин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2013. – № 7. – С. 12 – 14.
 21. Таранцев, К.В. Оптимизация конструкций электродегидраторов методом компьютерного моделирования / К.В. Таранцев, Е.Г. Красная, В.А. Чирков, И.А. Ашихмин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2013. – № 6. – С. 12 – 14.
 22. Таранцев, К.В. Моделирование процессов коагуляции и диспергирования воды в слабопроводящих жидкостях в электрическом поле / К.В. Таранцев // Электронная обработка материалов. – 2013. – № 49(5) . – С. 62 – 69.
 23. Таранцев, К.В. Анализ конструкций смесителей, применяемых для электрообессоливающих установок / К.В. Таранцев, Д.Д. Токарев // Научно-методический журнал XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего, плюс. Серия: экология. – 2013. – 09(13) . – С. 93 – 98.
 24. Таранцев, К.В. Численное моделирование гидродинамики потоков в смесителях электрообессоливающих установок / К.В. Таранцев, Д.Д. Токарев // Научно-методический журнал XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего, плюс. Серия: экология. – 2013. – 09(13) . – С. 108 – 112.
 25. Таранцев, К.В. Численное моделирование процесса разрушения и слияния капель в электрическом поле / К.В. Таранцев, Д.Д. Токарев, Э.Р. Эмурлаева // Научно-методический журнал XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего, плюс. Серия: экология. – 2013. – 01(17) . – С. 201 – 206.

26. Таранцев, К.В. Разработка конструкции смесителя-электрокоалесцента для получения эмульсии воды в нефти с использованием численных методов / К.В. Таранцев, И.А. Прошин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 4. – С. 10 – 12.
27. Таранцев, К.В. Разработка конструкции электродегидрататора для обезвоживания водонефтяных эмульсий численными методами в среде Salome / К.В. Таранцев, А.В. Коростелева, И.А. Прошин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2015. – № 5. – С. 3 – 6.
28. Таранцев, К.В. Методология исследования поведения гетерогенных систем в процессах электродиспергирования и электродеэмульсации водонефтяных эмульсий / К.В. Таранцев, И.А. Прошин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. – № 10. – С. 20 – 22.
29. Таранцев, К.В. Основы численного моделирования и проектирования электрогидродинамических устройств для создания и разрушения водонефтяных эмульсий / К.В. Таранцев, И.А. Прошин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. – № 12. – С. 8 – 10.
30. Таранцев, К.В. Интенсификация химико-технологических процессов создания и разрушения водонефтяных эмульсий на основе системного анализа / К.В. Таранцев, И.А. Прошин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. – № 12. – С. 11 – 17.
31. Таранцев, К.В. Влияние частоты электрического поля на процесс разрушения водонефтяных эмульсий в электродегидрататорах / К.В. Таранцев, К.Р. Таранцева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2017. – № 11. – С. 11– 13.
32. Таранцев, К.В. Влияние турбулентности на процессы создания и разрушения водонефтяных эмульсий при обессоливании нефти / К.В. Таранцев, К.Р. Таранцева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2017. – № 11. – С. 11– 13.
33. Таранцев, К.В. Влияние напряженности электрического поля на процессы разрушения и создания водонефтяных при обессоливании нефти / К.В. Таранцев, К.Р. Таранцева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2017. – № 11. – С. 14 – 16.
34. Таранцев, К.В. Влияние неоднородности электрического поля на процессы создания и разрушения водонефтяных эмульсий при обессоливании нефти / К.В. Таранцев, К.Р. Таранцева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2017. – № 11. – С. 17– 19.
35. Таранцев, К.В. Анализ способов повышения эффективности процесса коалесценции на установках электрообессоливания и обезвоживания нефти / К.В. Таранцев, К.Р. Таранцева, Е.Г. Красная // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2017. – № 12. – С. 7– 9.
36. Таранцев, К.В. Анализ возможности использования современных компьютерных технологий для исследования гидродинамики несжимаемой жидкости в рабочем пространстве аппаратов / К.В. Таранцев, С.И. Поникаров, К.Р. Таранцева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2019. – № 5. – С. 40 – 42.

Монография

37. Таранцев, К.В. Применение электрических полей в процессах обезвоживания нефти: монография / К.В. Таранцев, Е.Г. Красная – Пенза: Изд-во. Пенз. гос. технол. академии. – 2012. – 116 с.

Авторские свидетельства и патенты на изобретения

38. Пат. 2452551 Российская Федерация, МПК В01В 17/06. Устройство для разделения водонефтяных эмульсий в электрическом поле / К.В. Таранцев. Оpubл. 10.06.2012. Бюл. №16.

39. Пат. 2535863 Российская Федерация, МПК B01F 5/00, B01F 5/04. Смеситель-электрокоалесцентор / К.В. Таранцев, Д.Д. Токарев. Опубл. 20.12.2014 Бюл. № 35.

Другие работы, в которых отражены результаты диссертации

40. Таранцев, К.В., Марьин В.К. Методика расчета электрогидродинамики в межэлектродном пространстве на границе раздела слабопроводящих сред: Материалы Международного научно-техн. семинара «Экологическая безопасность регионов России». – Пенза: ПТИ, 1998. – С. 87–90.

41. Таранцев, К.В. Влияние электромагнитного поля на гидродинамические, тепловые и массообменные характеристики процессов химической технологии. Актуальные проблемы науки и образования: Труды Международного юбилейного симпозиума (АПНО-2003). – 2003. – Т.2. – Пенза: ПГУ, 2003. – С. 99–103.

42. Таранцев, К.В. Интенсификация гидродинамических, тепловых и массообменных процессов электромагнитным полем как пример инновационных технологий: Труды XXIII-го Международного Симпозиума «Новые технологии в образовании, науке и экономике», 1 - 8 ноября 2008 года, г. Маскат (Оман). / Под ред. Г.К. Сафаралиева, А.Н. Андреева – Москва: Информационно-издательский центр Фонда поддержки вузов, 2008. – С. 120 – 125.

43. Таранцев, К.В. Новый подход к расчету напряженности электрического поля численными методами: Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза: Информационно-издательский центр ПензГУ, 2009. Том 3. Том 1. С. 196 – 198.

44. Таранцев, К.В. Перспективы применения выносных электрокоалесценторов для обезвоживания нефти: Труды II Международной научно-практической Интернет конференции «Молодежь. Наука. Инновации». Пенза: Изд-во Пензенского филиала РГУИТП, 011. – С. 387 – 392.

45. Таранцев, К.В. Анализ влияния неоднородности электрического поля на интенсивность обезвоживания нефти. Труды II Международной научно-практической Интернет конференции «Молодежь. Наука. Инновации». Пенза: Изд-во Пензенского филиала РГУИТП, 2011. – С. 392 – 398.

46. Таранцев, К.В., Коростелева А.В. Методы обезвреживания нефтесодержащих отходов. Труды IV Международной научно-практической Интернет конференции «Молодежь. Наука. Инновации». Пенза: Изд-во Пензенского филиала РГУИТП, 2012. – С. 410 – 413.

47. Таранцев, К.В. Моделирование процессов коагуляции и диспергирования воды в слабо проводящих жидкостях в электрическом поле // В сб. “Современные проблемы электрофизики и электрогидродинамики жидкостей”. Материалы X международной научной конференции, 25 – 28 июня 2012.– СПб.: СОЛО, 2012. – С. 171 – 173.

48. Tarantsev, K. V. Numerical Modeling of the Processes of Coagulation and Dispersion of Drops in Electric Field / K. V. Tarantsev // Advances in Petroleum Exploration and Development. – 2014. – Vol. 7, No. 1. – P. 30 – 33.

49. Tarantsev, K. V. Numerical modeling of the processes of coagulation and dispersion of drops in electric field / Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific - practical conference. Part 2. /Ed. Uvaysov S. U.-M.: HSE, Prague, 2014. – P. 477 – 482.

50. Таранцев, К.В. Численное моделирование гидродинамики электрокоалесценторасмесителя в среде Salome // В сб. “Современные проблемы электрофизики и электрогидродинамики.”. Материалы XI Международной научной конференции, 29 июня - 3 июля 2015 года. – СПб.: ИД «Петроградский», 2015. – С. 308 – 311.
51. Таранцев, К.В. Потеря устойчивости капель воды в однородном электрическом поле // В сб. “Современные проблемы электрофизики и электрогидродинамики”. Материалы XI Международной научной конференции, 29 июня - 3 июля 2015 года. – СПб.: ИД «Петроградский», 2015. – С. 368 – 371.
52. Таранцев, К.В. Описание динамически изменяемой топологии границы раздела жидкостей при численном моделировании процессов создания и разрушения эмульсий // Материалы X Международной научно-практической конференции «Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM», Пенза, 2016, – С. 81–85.
53. Таранцев, К.В. Управление процессами и выбор метода интенсификации процессов обезвоживания и обессоливания нефти // Материалы Российско-американской научной школы-конференции «Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов», Казань, 2016, – С. 119–121.

Таранцев Константин Валентинович