

На правах рукописи



КРАСНАЯ Елена Геннадьевна

**ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ДЕГИДРАТАЦИЯ
ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ДЛЯ ВТОРИЧНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

Специальность 03.02.08 – экология (в химии и нефтехимии)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза – 2012

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования “Пензенская государственная технологическая академия” на кафедре “Биотехнологии и технологическая безопасность”.

Научный руководитель:	кандидат технических наук, доцент ТАРАНЦЕВ Константин Валентинович
Официальные оппоненты	доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия» ПРОШИН Иван Александрович , доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экология и охрана окружающей среды» Энгельсского технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» ОЛЬШАНСКАЯ Любовь Николаевна
Ведущая организация	ОАО «Научно-исследовательский и проектно-технологический институт химического машиностроения» (ОАО «НИИПТХиммаш»), г. Пенза

Защита состоится 21 марта 2012 г., в 11 часов, на заседании диссертационного совета ДМ 212.337.02 при Пензенской государственной технологической академии по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”.

Автореферат разослан “20” февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Яхкинд Михаил Ильич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В процессе добычи, переработки, транспортировки и использования нефтепродуктов образуется большое количество водонефтяных эмульсий. Попадая в окружающую среду, они загрязняют поверхностные и подземные воды, изменяют состав почв.

После разделения водонефтяных эмульсий на воду и нефтепродукты, вода может быть использована для технологических нужд, а нефтепродукты после их дегидратации вторично использованы. Это позволит добиться существенной экономии водных ресурсов и снизить антропогенное воздействие объектов нефтехимических отраслей промышленности на окружающую среду. В связи с этим актуальна разработка эффективных технологий разделения водонефтяных эмульсий и извлечения из них нефтепродуктов с разработкой соответствующих инженерных решений по защите окружающей среды.

Существующие механические, термические и физико-химические способы разрушения водонефтяных эмульсий являются затратными и не всегда позволяют достичь необходимого качества очищаемой воды и извлекаемых нефтепродуктов.

Перспективным методом разделения водонефтяных эмульсий является разрушение их в электрическом поле. Исследованиям в данном направлении посвящены работы Frederick G. Cottrell, Harmon F. Fisher, Гуреева А.А., Левченко Д.Н., Мартыненко А.Г., Панченкова Г.М., Цабика Л.К., Гершуни С.Ш., Проскуракова В.А., Смирнова О.В., Апфельбаума М.С., Буткова В.В., Дритова Л.А., Таранцева К.В.

Параметрами, влияющими на разделение водонефтяных эмульсий, являются: скорость и режим течения эмульсии, дисперсный состав, напряженность электрического поля, электропроводность, вязкость, плотность, поверхностное натяжение на границе раздела жидкостей, форма и размеры электродов и рабочей зоны и др.

Для повышения эффективности разделения водонефтяных эмульсий необходимо проведение исследований по определению степени влияния гидродинамических и электрофизических факторов на эффективность процесса электродегидратации с целью разработки электродегидраторов (аппаратов для разделения водонефтяных эмульсий) и совершенствования методов проектирования технологических систем разделения водонефтяных эмульсий.

Цель работы: установление закономерностей процесса разрушения водонефтяных эмульсий в электрическом поле и определение оптимальных параметров процесса электродегидратации с разработкой на их основе технологической схемы разделения водонефтяных эмульсий и конструкции электродегидратора.

Для достижения цели в работе решались следующие задачи:

1. Анализ существующих методов разделения водонефтяных эмульсий для выбора эффективного метода разрушения эмульсий и разработки инженерных решений по защите окружающей среды на его основе.

2. Установление закономерностей процесса разрушения водонефтяных эмульсий в электрическом поле и определение оптимальных параметров процесса электродегидратации.

3. Моделирование процесса электрогидродинамического разрушения эмульсий с целью выбора оптимальных инженерных решений по схеме разделения водонефтяных эмульсий и конструкции электродегидратора.

4. Разработка технологической схемы разделения водонефтяных эмульсий в электрическом поле.

5. Разработка электродегидраторов для разделения водонефтяных эмульсий с заданными свойствами.

Объект исследования: водонефтяные эмульсии, образующиеся в ходе добычи, переработки, транспортировки и использования нефтепродуктов.

Предмет исследования: электрогидродинамический метод разделения водонефтяных эмульсий и инженерные решения на его основе по конструктивному оформлению процесса и технологической схемы разделения водонефтяных эмульсий.

Методы исследования: в ходе работы над диссертацией были использованы натурные испытания, численное моделирование с использованием пакета COMSOL, регрессионный анализ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Установлены закономерности времени разрушения эмульсии в зависимости от напряженности и частоты электрического поля, конфигурации рабочей зоны и скорости протекания эмульсии.

2. Впервые создана математическая модель слияния капель в электрическом поле, позволяющая определить зависимость времени от гидродинамических (формы и размеров электродов, конфигурации рабочей зоны, скорости течения эмульсии) и электрофизических (напряженности электрического поля, частоты приложенного тока) параметров рабочих сред.

3. Созданы математические модели для определения оптимальных режимов электродегидратации как вновь создаваемых, так и существующих электродегидраторов, позволяющие моделировать происходящие в них процессы и выявлять оптимальные технологические параметры их работы.

Практическую значимость работы составляют:

1. Результаты моделирования процесса слияния капель воды в электрическом поле, позволяющие определять оптимальные параметры процесса электродегидратации водонефтяных эмульсий.

2. Технологическая схема разделения водонефтяных эмульсий в электрическом поле на основе полученных закономерностей.

3. Разработанные конструкции электродегидраторов для разделения водонефтяных эмульсий с заданными свойствами

4. Рекомендации по организации процессов в электродегидраторах с целью повышения степени разделения эмульсий в электрическом поле без дополнительных затрат.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Результаты экспериментальных исследований и численного моделирования процесса слияния капель воды, позволяющие определить степень влияния на процесс электродегидратации следующих параметров: формы; размеров рабочей зоны; скорости течения эмульсии; напряженности электрического поля; частоты приложенного тока и разработать новые конструкции электродегидраторов.

2. Установленные закономерности времени разрушения эмульсии в зависимости от напряженности и частоты электрического поля, конфигурации рабочей зоны и скорости протекания эмульсии.

3. Математические модели, описывающие влияние гидродинамических параметров и электрофизических свойств эмульсий на процесс их разрушения в электрическом поле, и позволяющие моделировать происходящие в электродегидраторах процессы и выявлять оптимальные технологические параметры их работы.

4. Инженерные решения по изменению гидродинамических условий и структуры электромагнитного поля в аппаратах для разрушения водонефтяных эмульсий в электрическом поле с учетом результатов моделирования.

5. Технологическая схема разделения водонефтяных эмульсий в электрическом поле на основе полученных закономерностей.

6. Разработанные конструкции электродегидраторов для разделения водонефтяных эмульсий с заданными свойствами и рекомендации по выбору режимов их работы.

7. Регрессионная модель, описывающая влияние гидродинамических (формы и размеров рабочей зоны, скорости течения эмульсии) и электрофизических (напряженности электрического поля, частоты приложенного тока) параметров эмульсий на процесс их электродегидратации.

Реализация результатов работы.

Теоретические и практические результаты работы диссертации используются: в ОАО “Средневожский научно-исследовательский институт по нефтепереработке” при проведении экспериментальных исследований, конструкторских и технологических расчетов; в ООО “Агентство инженерно-экологического проектирования” для моделирования процессов в межэлектродном пространстве электрогидродинамических устройств с помощью численных методов и математических моделей; в учебном процессе Пензенской государственной технологической академии, что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается использованием современных методов исследования, результатами практического использования предложенных в диссертации методов и устройств, актами об использовании и внедрении результатов работы, а также апробацией работы на конференциях различного уровня.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Актуальные проблемы науки и образования” (2008, Пенза); VII Всероссийской научно-методичес-

кой конференции “Инновации в науке, образовании и бизнесе: Технические науки, экология и защита в ЧС” (2009 г., Пенза); II Всероссийской научно-практической конференции “Безопасность в чрезвычайных ситуациях” (2010 г., Санкт-Петербург); Международной научно-практической конференции “Молодёжь. Наука. Инновации” (2010 г., Пенза); IV Научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Актуальные проблемы науки и образования” (2011 г., Пенза).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, из них 4 – в журналах, входящих в перечень ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 134 наименований. Основное содержание диссертации включает 125 страниц машинописного текста, 64 рисунка, 7 таблиц, 4 приложения на 5 с.

Благодарность. Автор и научный руководитель выражают благодарность Стишкову Юрию Константиновичу, доктору физико-математических наук, профессору физического факультета, заведующему лабораторией электрогидродинамики Научно-исследовательского института радиофизики Санкт-Петербургского государственного университета и его сотрудникам за консультации в процессе создания математических моделей и предоставленную возможность проведения расчетов в среде COMSOL.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулирована цель работы, поставлены задачи, решение которых позволяет достичь цели исследования, определены новизна и практическая значимость результатов исследования.

В первой главе проанализированы источники образования водонефтяных эмульсий и наносимый ими вред окружающей среде.

Рассмотрены виды и свойства водонефтяных эмульсий, способы их разделения. Показано, что на практике используются десять способов обезвоживания нефтепродуктов: отстаивание, центрифугирование, термообработка, химическая обработка, промывка в водном слое, обработка в электрическом поле, фильтрация в пористых средах, импульсные воздействия, вымораживание, выпаривание.

Эти методы основаны на трех основных принципах: использования естественного расслоения эмульсии на нефтепродукт и воду в поле сил гравитации; снижения вязкости нефтепродуктов нагревом или добавлением деэмульсаторов; интенсификации расслоения эмульсии за счет применения гидродинамических коалесценторов или электрического поля.

Показано, что перспективным методом является электрический способ разрушения водонефтяных эмульсий. Однако, для оптимизации данного процесса и разработки инженерных решений по защите окружающей среды необходимо исследовать влияние различных гидродинамических (формы и размеров рабочей зоны, скорости течения эмульсии) параметров, электрофизических

(напряженности электрического поля, частоты приложенного тока) свойств на процесс разрушения водонефтяной эмульсии в электрическом поле.

Проведен анализ электродегидраторов и элементов их конструкций. Электродегидраторы проклассифицированы по типу применяемого электрического поля, способу ввода нефти в электродегидратор, конструктивным особенностям.

Представлен анализ производительности и эффективности электродегидраторов различных форм: вертикальных цилиндрических, шаровых, горизонтальных цилиндрических. Показано, что наибольшую производительность можно получить, используя горизонтальные электродегидраторы.

На основании проведенного анализа выделены основные направления способов повышения эффективности горизонтальных электродегидраторов:

- оптимизация формы и размеров электродов, создающих электрическое поле, для интенсификации процессов коалесценции в рабочей зоне;

- создание благоприятных гидродинамических условий, способствующих отстаиванию воды;

- оптимизация структуры потоков в рабочей зоне с целью увеличения напряженности электрического поля, без возникновения условий для короткого замыкания, через водяные цепочки.

В настоящее время система разработки промышленных аппаратов состоит из нескольких этапов: накопления эмпирических данных; создания лабораторной, пилотной установки, промышленного образца. Существующий подход увеличивает затраты, сроки проектирования и модернизации аппаратов, кроме того, не всегда учитывает изменения параметров входных потоков (состава, свойств и др.) и непостоянство технологических режимов в промышленных аппаратах. Это является причиной снижения мощности и эффективности процесса, и выбранные решения зачастую являются не рациональными.

В связи с этим, исследование процесса разрушения водонефтяных эмульсий в электрическом поле для определения оптимальных параметров процесса электродегидратации целесообразно проводить в лабораторных условиях (на макетах), а для разработки инженерных решений по конструктивному оформлению процесса электродегидратации применять методы математического моделирования. Это позволит на стадии предпроектной разработки определять оптимальные конструкции электродегидраторов, обеспечивающих необходимую эффективность процесса при изменении параметров входных потоков и технологических режимов.

Вторая глава посвящена вопросам исследования процессов разрушения водонефтяных эмульсий в электрическом поле.

Рассмотрены численные методы расчета потенциала электрического поля, создаваемого различными по форме и размерам электродами, с последующим определением распределения напряженности электрического поля.

В результате решения уравнения Пуассона численным методом был определен потенциал электрического поля $\varphi(x, y, z)$, создаваемого заданным распре-

делением электрических зарядов $\rho(x, y, z)$ в пространстве. Значение напряженности в каждой точке рабочей зоны рассчитано по уравнению $\vec{E} = -grad(\varphi)$. На основании полученных результатов был проведен предварительный анализ структуры электрического поля в рабочем пространстве в зависимости от формы и размеров электродов, позволивший определить дальнейшее направление исследований.

В третьей главе проведено исследование воздействия электрического поля на гидродинамические характеристики процесса разрушения эмульсии в зависимости от напряженности электрического поля, формы, размеров электродов, расположения их в рабочей зоне, на лабораторной установке и методами компьютерного моделирования.

Исследования процесса слияния капель в электрическом поле проводились в зависимости от напряженности и частоты электрического поля, размеров капель, угла раскрытия рабочей зоны и скорости течения жидкости.

Исследования проводились с целью получения данных об интенсивности процесса слияния капель в зависимости от гидродинамических параметров и электрофизических свойств жидкостей, составляющих эмульсию.

В качестве основного критерия интенсивности процесса было выбрано время слияния капель воды в нефтепродуктах, так как именно оно позволяет комплексно оценить протекающие процессы и эффективность работы оборудования.

В состав экспериментальной установки входили: стеклянная ячейка, система электродов, высоковольтный трансформатор, контрольно-измерительные приборы (микроамперметр, киловольтметр), позволяющие регистрировать параметры электрического поля, средства визуализации (кинокамера) для регистрации протекающих процессов. Регистрация проводилась с частотой 100 с^{-1} (рис. 1).

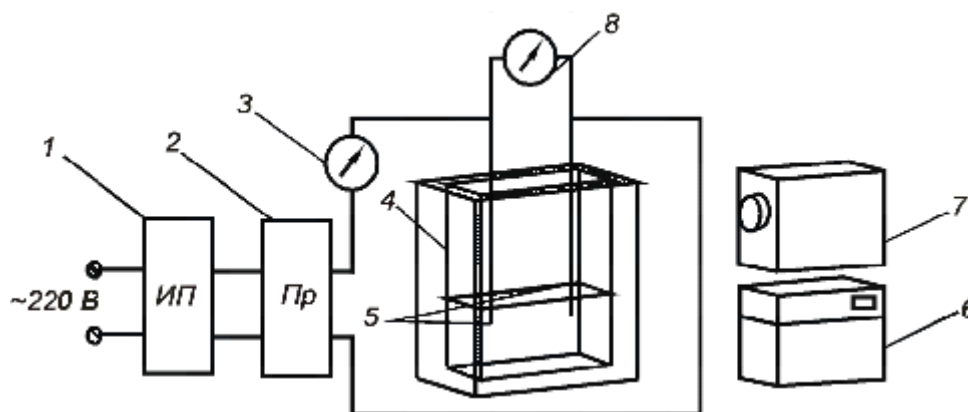


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – источник питания; 2 – преобразователь высокого напряжения; 3 – микроамперметр; 4 – ячейка; 5 – электроды; 6 – кинокамера; 7 – источник света; 8 – киловольтметр

При исследовании процесса разрушения эмульсий в электрическом поле в качестве рабочих сред использовали нефть, касторовое и трансформаторное масла. Физико-химические свойства рабочих сред приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические свойства рабочих сред при температуре 20 °С

Жидкость	Электропроводность σ , (Ом×см) ⁻¹	Относительная диэлектрическая проницаемость среды ϵ	Плотность γ , кг/м ³	Динамическая вязкость η , мПа·с
Вода	$1,5 \cdot 10^{-5}$	80,08	1000	1,01
Касторовое масло	$4,0 \cdot 10^{-11}$	4,50	951	1252,16
Трансформаторное масло	$5,0 \cdot 10^{-14}$	2,20	881	21,71
Нефть	$1,0 \cdot 10^{-10}$	2,2	884	474

Выбор данных рабочих сред обусловлен тем, что гидродинамические и электрофизические свойства нефти и нефтепродуктов сильно зависят от их состава и степени обводненности, а свойства модельных жидкостей позволяют моделировать данный диапазон. Кроме того, модельные жидкости прозрачны и позволяют проводить кино- и фоторегистрацию протекающих процессов слияния капель воды.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований были определены диапазоны: изменения вязкости, поверхностного натяжения на границе раздела жидкостей, образующих эмульсию, электропроводности нефти и воды, диэлектрической проницаемости нефти и нефтепродуктов для последующего моделирования процесса слияния капель воды под действием сил электрического поля.

Компьютерное моделирование процесса слияния капель воды в нефтепродукте под воздействием электрического поля проводилось на модели, созданной в среде COMSOL Multiphysics, включающей в себя 2 модуля: *AC/DC Module* и *Microfluidics Module*. *AC/DC Module* предназначен для моделирования электромагнитных процессов как постоянного, так и переменного тока. Он позволяет моделировать постоянное и переменное электрическое поле в рабочей зоне различной формы и размеров, определять распределение в пространстве и времени таких параметров, как электропроводность и диэлектрическая проницаемость. *Microfluidics Module* содержит приложения, описывающие динамику потока, как в однородной, так и в многофазной жидкости в рабочей зоне под действием различных объемных сил.

Моделирование процесса слияния капель воды в нефти проведено в пакете COMSOL на основании уравнений Навье–Стокса и неразрывности потока:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla[-pI + \eta(\nabla u + (\nabla u)^T)] + F_{st} + \rho g + F \\ \nabla \cdot u = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где u – скорость потока (м/с); ρ – плотность (кг/м³); η – динамическая вязкость (Па·с); p – давление (Па); g – ускорение свободного падения (м/с²); $F_{\text{ст}}$ – силы поверхностного натяжения (Н/м³); F – дополнительные силы в объеме (Н/м³).

Для отслеживания движения фаз на границе раздела нефть-вода, используется система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + u \cdot \nabla \varphi = \nabla \cdot \frac{3\chi\sigma\varepsilon}{2\sqrt{2}} \nabla \varphi \\ \psi = -\nabla \cdot \varepsilon^2 \nabla \varphi + (\varphi^2 - 1)\varphi \end{cases} \quad (2)$$

где γ – коэффициент поверхностного натяжения (Н/м); ε – числовой параметр (м), который определяет толщину границы раздела между жидкостями, то есть область, где фазовая переменная φ изменяется от -1 (вода) до $+1$ (нефть); χ – числовой параметр, характеризующий подвижность границы раздела.

Электрический потенциал V рассчитывали как:

$$-\nabla \cdot (\varepsilon_0 \varepsilon_r \nabla V) = 0, \quad (3)$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная вакуума; ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость среды.

Электрическую силу, входящую в уравнение Навье–Стокса, определяли дивергенцией тензора напряжений Максвелла

$$F = \nabla \cdot T. \quad (4)$$

Тензор напряжений Максвелла T определяли по формуле:

$$T = ED^T - \frac{1}{2}(E \cdot T)I, \quad (5)$$

где E – напряженность электрического поля; D – электрическая индукция поля:

$$E = -\nabla \cdot V; \quad (6)$$

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon_r E. \quad (7)$$

В двумерных моделях, рассчитанных в ходе математического эксперимента, тензор Максвелл определялся в следующем виде:

$$T = \begin{bmatrix} T_{xx} & T_{xy} \\ T_{yx} & T_{yy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \varepsilon_r E_x^2 - \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r (E_x^2 + E_y^2) & \varepsilon_0 \varepsilon_r E_x E_y \\ \varepsilon_0 \varepsilon_r E_y E_x & \varepsilon_0 \varepsilon_r E_y^2 - \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r (E_x^2 + E_y^2) \end{bmatrix}, \quad (8)$$

Относительную диэлектрическую проницаемость определяли в зависимости от внутренних объемных долей каждой жидкости:

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{r1} Vf1 + \varepsilon_{r2} Vf2, \quad (9)$$

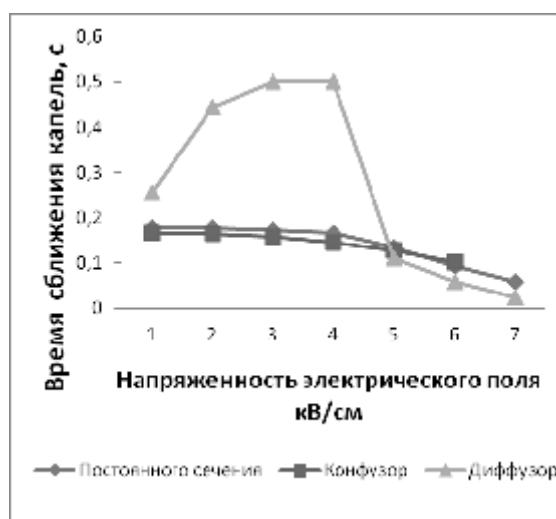
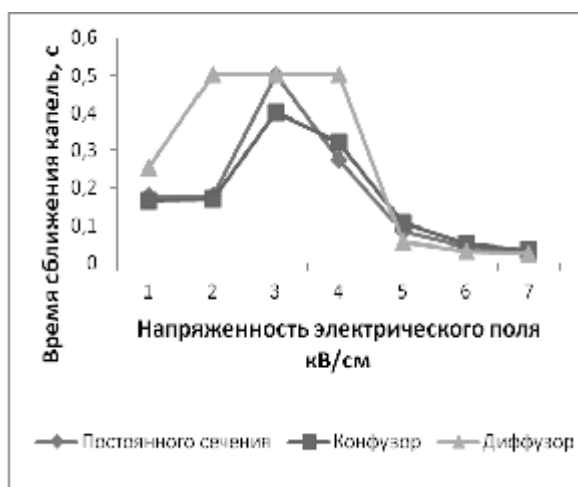
здесь ε_{r1} и ε_{r2} – относительные диэлектрические проницаемости нефти и воды соответственно; $Vf1$ – объемная доля первой жидкости (вода); $Vf2$ – объемная доля второй жидкости (нефть).

В результате численного моделирования процессов слияния капель воды в нефти с различной системой электродов, было установлено, что на процесс

слияния капель влияют: скорость движения эмульсии в рабочей зоне, геометрия рабочей зоны, угол раскрытия и напряженность электрического поля.

На рис. 2 представлено влияние напряженности электрического поля и формы канала на среднее время до касания капель.

Выявлено, что в постоянном электрическом поле, при напряженности поля до 4 кВ/см^2 процесс идет медленнее, чем в его отсутствии. Лишь при превышении некоторого критического значения порядка 5 кВ/см^2 наблюдается ускорение процесса слияния капель. Это объясняется тем, что разрушение адсорбционных слоев на поверхности капель требует превышения некоторой критической величины энергии.



а)

б)

Рис. 2. Влияние напряженности электрического поля и формы канала на среднее время до касания капель а) постоянное электрическое поле; б) переменное электрическое поле

Влияние напряженности постоянного электрического поля и формы канала на среднее время до касания капель описывается уравнениями (табл. 2).

Таблица 2

Тип сечения	Уравнение	Коэффициент корреляции
Постоянное сечение	$y = 0,6937 e^{-0,512x}$	$R = 0,8564$
Конфузор	$y = 0,5798 e^{-0,432x}$	$R = 0,8289$
Диффузор	$y = 1,7047 e^{-0,732x}$	$R = 0,9213$

Влияние напряженности переменного электрического поля и формы канала на среднее время сближения капель описывается уравнениями (табл. 3)

Таблица 3

Тип сечения	Уравнение	Коэффициент корреляции
Постоянное сечение	$y = 0,222 e^{-0,176x}$	$R = 0,8825$
Конфузор	$y = 0,1811 e^{-0,097x}$	$R = 0,9286$
Диффузор	$y = 1,6619 e^{-0,448x}$	$R = 0,8169$

Результаты моделирования показывают, что при напряженности переменного электрического поля до 4 кВ/см^2 в диффузоре процесс слияния капель протекает медленнее, чем в отсутствие электрического поля, а в конфузоре и в канале постоянного сечения увеличения времени слияния капель не наблюдается, а происходит монотонное постоянное ускорение процесса слияния капель по мере роста напряженности электрического поля. Это указывает на преимущество, в случае применения переменного электрического поля, каналов постоянного сечения и сужающихся каналов.

На рис. 3 показано влияние угла раскрытия электродов на среднее время сближения капель.

Видно, что при напряженности электрического поля 5 кВ/см с увеличением угла раскрытия рабочей зоны электродегидратора (от конфузора с углом раскрытия 20° до диффузора с углом сужения 10°) время на слияние капель сокращается.

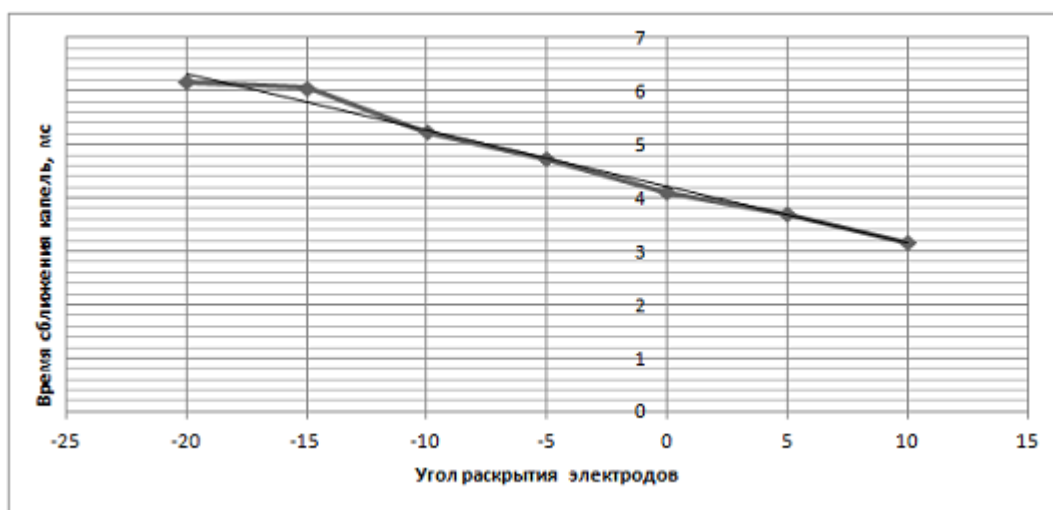
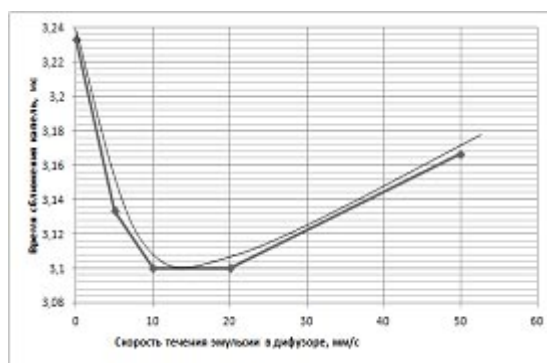
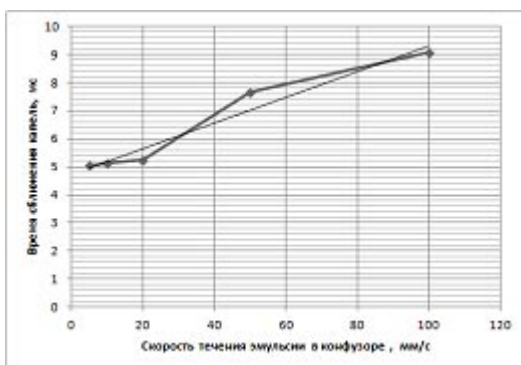


Рис. 3. Влияние угла раскрытия электродов на среднее время сближения капель

Среднее время сближения капель при различных углах раскрытия электродов при напряженности поля 5 кВ/см описывается уравнением регрессии $y = -0,106x + 4,207$, коэффициент корреляции $R = 0,986$.

Влияние скорости течения эмульсии на среднее время сближения капель в конфузоре показано на рисунке 4,а. Из представленных данных видно, что в постоянном электрическом поле для сужающейся рабочей зоны электродегидратора с увеличением скорости протекания эмульсии в рабочей зоне выше 5 кВ/см время монотонно увеличивается, т.е. обычно применяемая в электродегидраторах скорость течения 5 мм/с является оптимальной.



а)

б)

Рис. 4. Влияние скорости течения эмульсии на среднее время сближения капель
а) конфузор; б) диффузор

Влияние скорости течения эмульсии в конфузоре на среднее время сближения капель описывается уравнением $y = 0,045x + 4,736$, коэффициент корреляции $R = 0,951$.

Влияние скорости течения эмульсии на среднее время сближения капель в диффузоре представлено на рисунке 4,б, из которого видно, что в постоянном электрическом поле в расширяющейся рабочей зоне электродегидратора с увеличением скорости протекания эмульсии до 18 мм/с наблюдается уменьшение времени, необходимого для слияния капель. При скорости протекания эмульсии большей 18 мм/с, время для слияния капель больше, т.е. процесс протекает менее эффективно. То есть в случае прохождения эмульсии по конфузору, оптимальной является скорость протекания порядка 18 мм/с.

Влияние скорости течения эмульсии на среднее время сближения капель в диффузоре описывается уравнением $y = 0,0002x^2 - 0,0104x + 3,2069$, коэффициент корреляции $R = 0,8018$.

В результате проведенного исследования получена регрессионная модель описываемая уравнением:

$$y = 33,212 - 6,325x_1 + 4,687x_1x_2 + 5,587x_1x_3$$

Выявлено, что наибольшее влияние на время сближения капель оказывает напряженность переменного электрического поля.

Таким образом, в результате проведенных исследований были получены зависимости интенсивности разрушения эмульсий от напряженности и частоты электрического поля, скорости течения слабопроводящей жидкости, а также угла раскрытия, формы и размеров электродов.

В четвертой главе на основе проведенных расчетов были предложены способы модернизации существующих горизонтальных электродегидраторов и разработана новая конструкция электродегидратора с двумя зонами контакта фаз, которые предлагается внедрить в уже существующую технологическую схему обезвоживания (обессоливания) нефти (рис. 5).

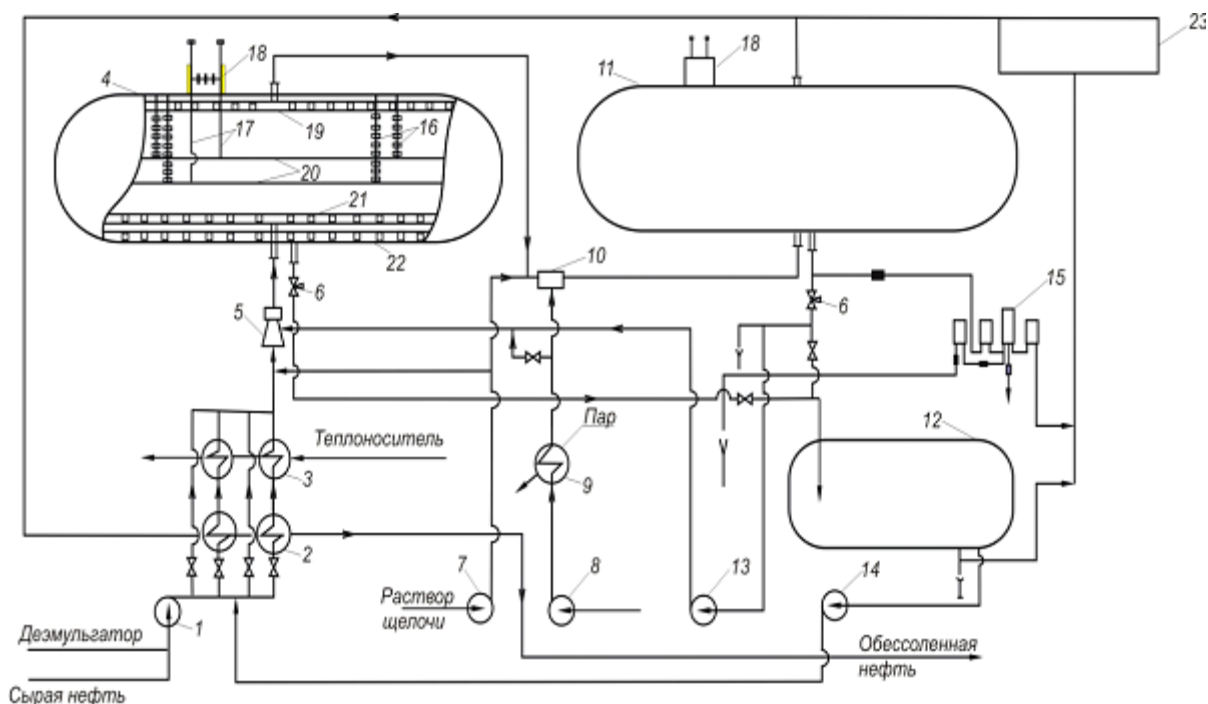


Рис. 5. Аппаратурно-технологическая схема электрообессоливающей установки (ЭЛОУ)
 1,7,8,13,14 – насосы; 2 – теплообменники; 3,9 – подогреватели; 4,11 – электродегидраторы;
 5 – смеситель; 12 – отстойник; 15 – смотровой фонарь. Устройство электродегидратора:
 16 – подвесные изоляторы; 17 – шины подвода электрического тока; 18 – трансформатор;
 19 – коллектор обессоленной нефти; 20 – электроды; 21 – распределитель ввода сырья;
 22 – коллектор соленой воды; 23 – модуль экологического мониторинга и контроля

На рис. 6 показана геометрия электродов для существующего электродегидратора (а); для модернизированного электродегидратора с дополнительной системой электродов (б).

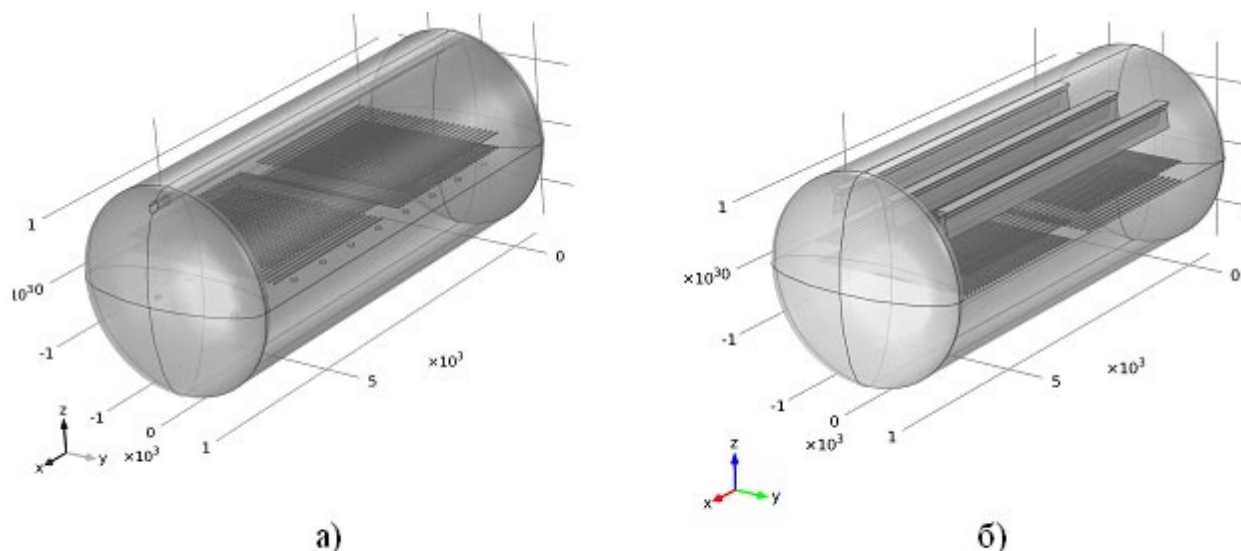


Рис. 6. Геометрия электродов в электродегидраторах: а) существующих горизонтальных; б) с дополнительной системой электродов в виде конфузора и диффузора

На рис. 7 показано распределение электрического потенциала для существующего электродегидратора.

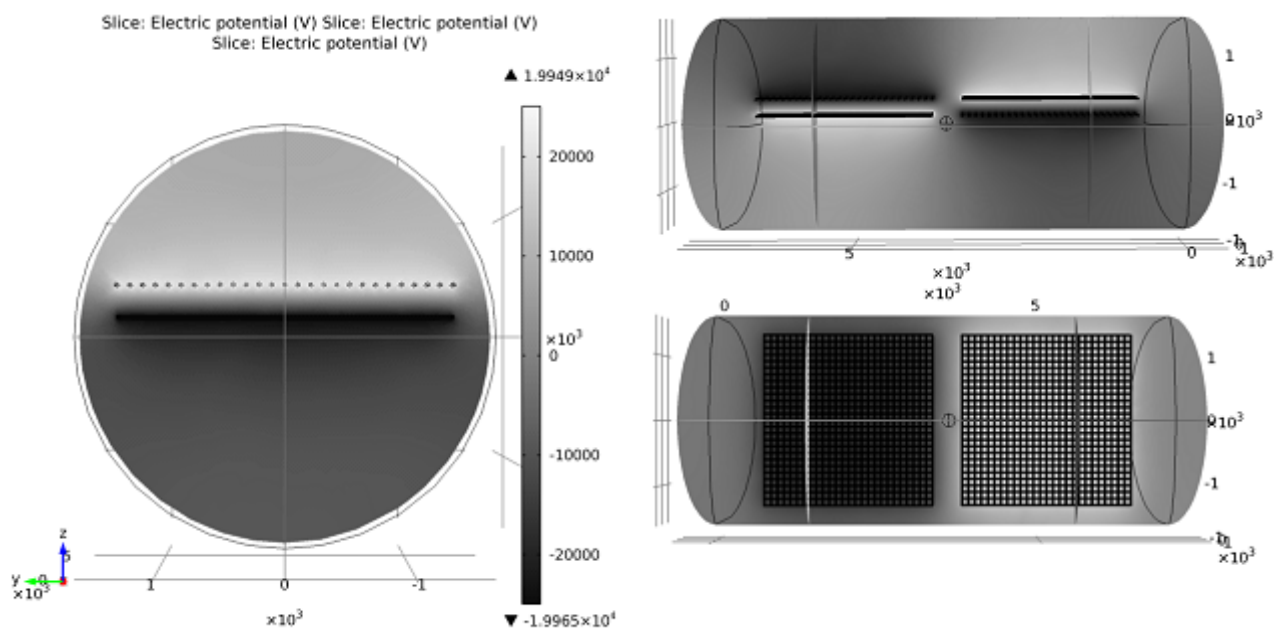


Рис. 7. Распределение электрического потенциала в существующей конструкции электродегидратора

Практика показывает, что в существующих конструкциях электродегидраторов после прохождения зоны разрушения в эмульсии все еще остается большое количество воды, т.е. не всегда достигается требуемая степень обезвоживания. Кроме того, в данных аппаратах сложно поддерживать характеристики электрического поля, в связи с непостоянством свойств поступающей в аппарат нефти, связанным с различной степенью ее обводненности.

При высокой обводненности нефти первичное обезвоживание рационально произвести другим способом, а затем, используя несколько ступеней электрогидродинамической обработки с промежуточным отстаиванием добиться требуемой степени обезвоживания, меняя от ступени к ступени расстояние между электродами и напряженность в зоне электрокоалесцирования.

Анализ используемых в мировой практике для разделения водонефтяных эмульсий форм и размеров электродов, позволил выбрать для конструктивного воплощения электрокоалесценторы с системой электродов, подобной трубе Вентури.

На основе произведенных расчетов предложено в существующих электродегидраторах в дополнение к плоской системе электродов установить электроды, образующие каналы для прохождения нефти вначале через конфузор, затем через зону постоянного сечения и, на последнем этапе, через диффузор, и организовать процесс с возвратом части выходящего потока сухого нефтепродукта. Это позволило изменить структуру потоков в электродегидраторе и увеличить степень обезвоживания нефтепродукта. Результаты проведенных расчетов для модернизированной конструкции электродегидратора представлены на рис. 8.

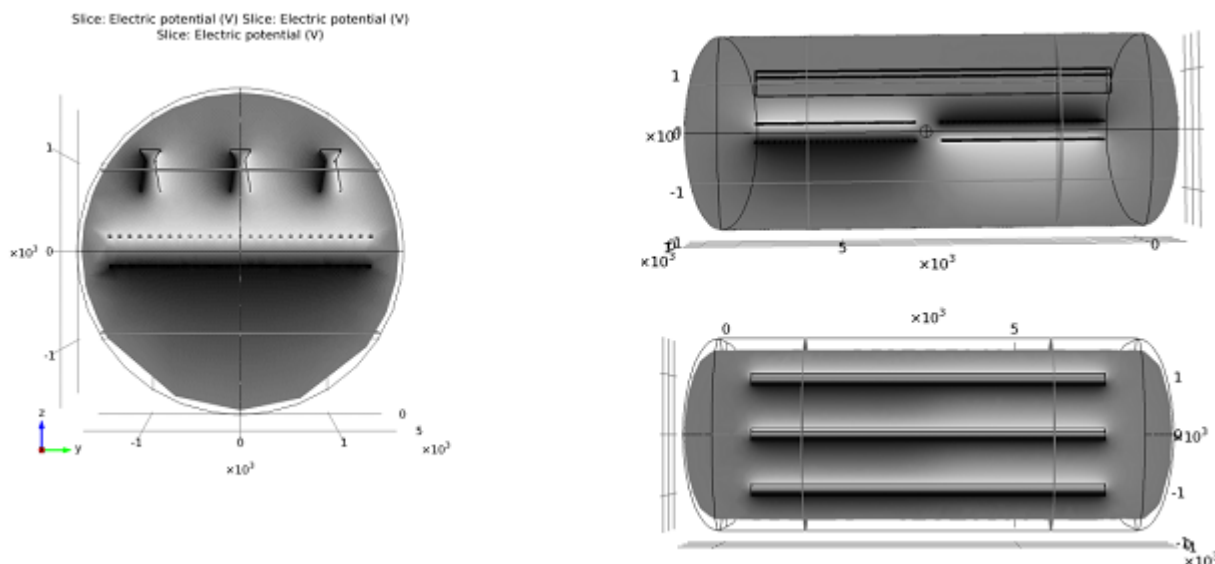


Рис. 8. Распределение электрического потенциала в модернизированном электродегидраторе с дополнительной системой электродов в виде конфузора и диффузора

В модернизированном электродегидраторе наблюдаются высокая напряженность электрического поля и благоприятные условия для слияния капель силами электрического поля, а возникающие при этом дополнительные электрогидродинамические течения существенно интенсифицируют процесс. Выявлено, что оптимальная структура потоков, необходимая для организации процесса, возникает при поступлении эмульсии через форсунки между электродами со скоростью, превышающей 50 мм/с.

Для повышения степени обезвоживания водонефтяной эмульсии в электродегидратор предложено дополнительно установить коалесцентор (рис. 9). Такая конструкция позволяет в одном рабочем объеме аппарата организовать две ступени контакта эмульсии с электрическим полем, что приведет к практически полному обезвоживанию обрабатываемого нефтепродукта.

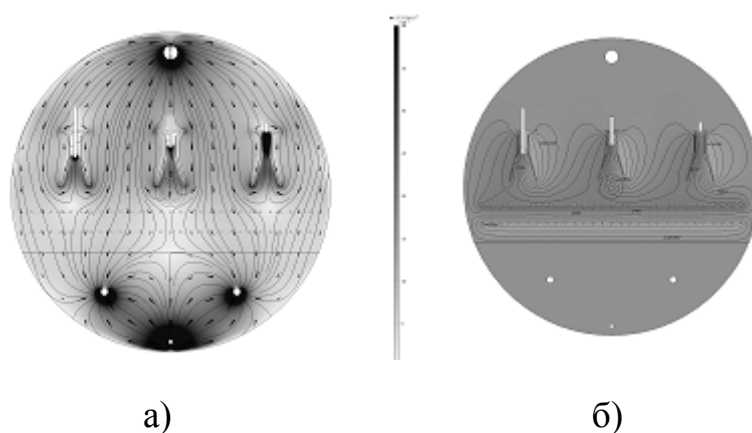


Рис. 9. Поле скоростей течения жидкости, рассчитанное для модернизированного варианта, с дополнительно установленным коалесцентором: а) поле скоростей течения жидкости; б) электрическое поле, рассчитанное для модернизированного варианта с двумя системами электродов, базовым и дополнительным коалесцентором

Таким образом, рекомендовано существующие конструкции электродегидраторов, в зависимости от степени обводненности нефтепродукта, оснастить дополнительной 3-х ступенчатой рабочей зоной, состоящей из: 1 – конфузора; 2 – зоны постоянного сечения; 3 – диффузора. Это позволит добиться обезвоживания нефтепродуктов без существенных дополнительных затрат.

Для вновь разрабатываемых конструкций предлагается учитывать возможность первичной обработки нефтепродукта в электрокоалесценторе с последующим отстаиванием для влажного нефтепродукта и электродегидраторе с двумя зонами контакта для сухого нефтепродукта, что позволит учесть механизм коалесценции капель в электрическом поле.

Разработанные модели могут быть рекомендованы для анализа существующих электродегидраторов с целью улучшения условий их работы, и для подбора оптимальной конструкции вновь проектируемых электродегидраторов с учетом физико-химических характеристик исходных эмульсий при проектировании.

Результаты работы внедрены в ООО “Агентство инженерно-экологического проектирования”, г. Йошкар-Ола, и используются для моделирования процессов в межэлектродном пространстве электрогидродинамических устройств с помощью численных методов и математических моделей. Данные методы и модели позволяют получать информацию, необходимую для улучшения конструкций электрогидродинамических устройств, сокращая, тем самым, время на разработку конструкции устройства.

Методика определения оптимальных размеров электродегидратора для обезвоживания нефтепродуктов под воздействием электрического поля внедрена в ОАО “Средневолжский научно-исследовательский институт по нефтепереработке”, г. Новокуйбышевск Самарской области, и используется при проведении экспериментальных исследований, конструкторских и технологических расчетов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ существующих методов разделения водонефтяных эмульсий, выбран электрогидродинамический метод интенсификации процесса разрушения водонефтяных эмульсий и разработаны инженерные решения на его основе – технологическая схема и аппарат для проведения процесса электрогидродинамической дегидратации.

2. Установлены закономерности времени разрушения эмульсии в зависимости от напряженности и частоты электрического поля, конфигурации рабочей зоны и скорости протекания эмульсии. Выявлено, что:

– при напряженности постоянного поля до 4 кВ/см^2 процесс в электрическом поле идет медленнее, чем в отсутствие электрического поля. Лишь при превышении некоторого критического значения порядка 5 кВ/см^2 наблюдается ускорение процесса слияния капель;

– при напряженности переменного электрического поля до 4 кВ/см^2 в диффузоре процесс слияния капель протекает медленнее, чем в отсутствие электрического поля, а в конфузоре и в канале постоянного сечения увеличения времени слияния капель не наблюдается, а происходит монотонное постоянное ус-

корение процесса слияния капель по мере роста напряженности электрического поля. Это указывает на преимущество, в случае применения переменного электрического поля, каналов постоянного сечения и сужающихся каналов;

– при напряженности электрического поля 5 кВ/см с увеличением угла раскрытия рабочей зоны электродегидрататора (от конфузора с углом раскрытия 20° до диффузора с углом сужения 10°) время на слияние капель сокращается;

– в постоянном электрическом поле для сужающейся рабочей зоны электродегидрататора с увеличением скорости протекания эмульсии в рабочей зоне выше 5 кВ/см время монотонно увеличивается, т.е. обычно применяемое в электродегидрататорах скорость течения 5 мм/с является оптимальной;

– в постоянном электрическом поле в расширяющейся рабочей зоне электродегидрататора с увеличением скорости протекания эмульсии до 18 мм/с наблюдается уменьшение времени, необходимого для слияния капель. При скорости протекания эмульсии более 18 мм/с время для слияния капель возрастает и процесс протекает менее эффективно. То есть в случае прохождения эмульсии по конфузору – оптимальной является скорость протекания порядка 18 мм/с.

3. Разработаны математические модели описывающие влияние гидродинамических параметров (формы и размеров электродов, конфигурации рабочей зоны, скорости течения эмульсии) и электрофизических свойств (напряженности электрического поля, частоты приложенного тока) эмульсий на процесс их разрушения в электрическом поле.

4. Разработаны математические модели для определения оптимальных режимов электродегидратации как вновь создаваемых, так и существующих электродегидрататоров, позволяющие моделировать происходящие в них процессы и выявлять оптимальные технологические параметры их работы.

5. Получена регрессионная модель, описывающая влияние гидродинамических параметров и электрофизических свойств эмульсий на процесс их электродегидратации.

6. Предложены инженерные решения по изменению гидродинамических условий и структуры электромагнитного поля в электродегидрататорах с учетом результатов моделирования.

7. Разработаны конструкции электродегидрататоров для разделения водонефтяных эмульсий с заданными свойствами и рекомендации по выбору режимов их работы.

8. Предложена технологическая схема разделения водонефтяных эмульсий в электрическом поле и схема включения в нее электродегидрататора.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах перечня ВАК:

1. Красная Е.Г. Расчет распределения потенциала в межэлектродном пространстве электрогидродинамических устройств численными методами // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. Серия: Физико-математические и технические науки. 2011. № 26. С. 550–555.

2. Таранцев К.В., Красная Е.Г., Коростелева А.В. Расчет распределения напряженности в межэлектродном пространстве электрогидродинамических устройств численными ме-

тодами // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. Серия: Физико-математические и технические науки. 2011. № 26. С. 654–660.

3. Таранцев К.В., Красная Е.Г., Коростелева А.В. Моделирование процессов в межэлектродном пространстве электрогидродинамических устройств // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. Серия: Физико-математические и технические науки. 2011. № 26. С. 661–665.

4. Таранцева К.Р., Красная Е.Г., Лебедев Е.Л., Коростелева А.В. Анализ техногенного воздействия промышленных предприятий г. Пензы на гидросферу // Экология и промышленность России. 2010. № 12. С. 40–45.

Публикации в других изданиях

5. Красная Е.Г., Зиновьева Н.В. Анализ техногенной нагрузки предприятий автомобильного машиностроения на примере ОАО “Автовазтранс” // Актуальные проблемы науки и образования: сборник материалов научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Ч. 3. Пенза: Изд-во ПГТА, 2008. С. 169–170.

6. Красная Е.Г., Сорокина В.В., Таранцев К.В. Анализ техногенной нагрузки производства ОАО ПО “Пензтекстильмаш” // Актуальные проблемы науки и образования: сборник материалов научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Ч. 3. Пенза: Изд-во ПГТА, 2008. С. 169–170.

7. Красная Е.Г., Федорова Н.В., Першина А.Е. Техногенная нагрузка на примере ОАО “Пензтяжпромарматура” с разработкой природоохранных мероприятий // Инновации в науке, образовании и бизнесе: Сборник статей VII Всероссийской научно-методической конференции. Пенза: Изд-во Пензенского филиала РГУИТП, 2009. С.338–341.

8. Красная Е.Г., Чуксина И.Е., Кукушкина А.В. Эколого-экономический анализ деятельности предприятия на примере ОАО “Пензмаш” // Инновации в науке, образовании и бизнесе: Сборник статей VII Всероссийской научно-методической конференции. Пенза: Изд-во Пензенского филиала РГУИТП, 2009. С.349–351.

9. Фирсова О.В., Красная Е.Г. Анализ техногенной нагрузки на гидросферу промышленными предприятиями г. Пензы и Пензенской области // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Сборник научных трудов II Всероссийской научно-практической конференции. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. С.13–16.

10. Таранцев К.В., Кузнецов И.В., Першина А.Е., Красная Е.Г. Анализ техногенной нагрузки ОАО “Пензенский арматурный завод” на гидросферу с разработкой природоохранных мер // Молодёжь. Наука. Инновации: Сборник материалов I Международной научно-практической Интернет-конференции. Пенза: РГУИТП, 2010. С. 280–285.

11. Коростелева А.В., Красная Е.Г., Таранцев К.В. Влияние неоднородности электрического поля на интенсивность обезвоживания нефти // Молодежь. Наука. Инновации: Труды II Международной научно-практической Интернет-конференции / Под ред. Г.К. Сафаралиева, А.Н. Андреева, В.А. Казакова. Пенза: Изд-во Пензенского филиала РГУИТП, 2010. С. 287–292.

12. Коростелева А.В., Красная Е.Г., Таранцев К.В. Применение выносных электрокоалесценторов для обезвоживания нефти // Молодежь. Наука. Инновации: Труды II Международной научно-практической Интернет-конференции / Под ред. Г.К. Сафаралиева, А.Н. Андреева, В.А. Казакова. Пенза: Изд-во Пензенского филиала РГУИТП, 2010. С. 292–298.

13. Коростелева А.В., Стяжкова Е.В., Красная Е.Г. Анализ техногенной нагрузки промышленных предприятий г. Пензы на состав сточных вод // Актуальные проблемы науки и образования: Сборник материалов IV научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Ч. 3. – Пенза: Изд-во ПГТА, 2011. С. 182–185.

КРАСНАЯ Елена Геннадьевна

**ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ДЕГИДРАТАЦИЯ
ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ДЛЯ ВТОРИЧНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

Специальность 03.02.08 – экология (в химии и нефтехимии)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Редактор Л.Ю. Горюнова
Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Е.В. Рязановой

Сдано в производство 17.02.12. Формат 60x84 ¹/₁₆
Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,18. Заказ № 2134. Тираж 110.

Пензенская государственная технологическая академия.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1^а/11.