

На правах рукописи



ВОРОБЬЕВА СИМА ВАСИЛЬЕВНА

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ РАЗДЕЛЕНИЯ
ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ**

Специальность 25.00.36 - "Геоэкология" (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

Гюмень, 2005

Работа выполнена в Тюменском государственном общеобразовательном учреждении высшего профессионального образования "Тюменский государственный нефтегазовый университет" (ГОУ ВПО ТЮМГНГУ)

Научный консультант - доктор технических наук, профессор
Шантарин Владислав Дмитриевич

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Прусенко Борис Ефимович

член-корреспондент РАН,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Нестеров Иван Иванович

доктор технических наук
Никифоров Владимир Николаевич

Ведущая организация -
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

Защита диссертации состоится 30 сентября 2005 г. в 10 час. 30 мин.
на заседании диссертационного совета Д 212.273.02 при Тюменском
государственном нефтегазовом университете по адресу:

625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, зал им. Косухина А.Н.

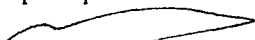
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тюменского
государственного нефтегазового университета по адресу:

625039, Тюмень, ул. Мельникайте, 72.

Автореферат разослан 29 августа 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

С.И Челомбитко



2006-4
11730

2167813

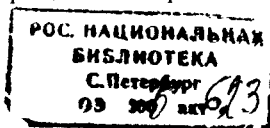
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

При эксплуатации на территории России более 230 тысяч километров магистральных и 350 тысяч километров промысловых трубопроводов, несмотря на диагностику, капитальный ремонт, реконструкцию с использованием новых технологий, проведение экологической экспертизы новых проектов и экспертизы промышленной безопасности на большинстве нефтяных месторождений загрязняются водные объекты с повышением минерализации поверхностных вод, а несколько тысяч гектаров грунта загрязнены почти миллионом тонн разлитой нефти. Это связано с высоким уровнем аварийности на магистральных трубопроводах из-за значительного физического и морального износа трубопроводов и оборудования, сопровождающимся залповым загрязнением водных объектов, почвы и атмосферного воздуха, превышающим предельно допустимые концентрации углеводородов и продуктов сгорания в 50 и более раз. В ряде случаев аварии сопровождаются тяжелыми травмами и гибелью людей.

Накопление в нефтепромысловом оборудовании и трубопроводах минеральных примесей и нефтешламов, содержащих как природные, так и техногенные радионуклиды, создает проблему обеспечения радиационной безопасности, в том числе персонала.

При очистке бытовых, промышленных, буровых, подтоварных вод образуется большое количество осадков, объемы которых затрудняют их перемещение, хранение, обработку.

Проблемы сгущения и обезвоживания осадков возникают как в нефтегазодобыче и нефтепереработке, так и в различных технологиях - производства огнеупорных материалов, белой сажи, при очистке вод гальванических цехов, а также при обращении с промышленными и бытовыми отходами.



Использование электрообработки при реализации разделения дисперсных систем начинает постепенно занимать все большее место в технологии для решения многих актуальных практических задач. Однако успехи в этом направлении еще довольно ограниченные, несмотря на большое количество работ, выполненных как у нас, так и за рубежом. Такое положение связано с тем, что при электрообработке систем с газовой и жидкой дисперсионными средами в большинстве из них протекают различные взаимосвязанные процессы, что затрудняет технологическое оформление процесса.

В литературе мало обзоров практических работ, цель которых - обобщение на теоретической основе результатов производственных исследований электрообработки. Недостаток информации о механизме явлений в примененном конкретном случае, непонимание приоритета параметров и отсутствие контроля за их изменением, низкий уровень техники эксперимента часто приводят практиков к необоснованно негативным выводам.

При наложении внешнего электрического поля на дисперсные системы как с газовой, так и с жидкой полярной или неполярной дисперсионными средами взвешенные частицы могут заряжаться, перемещаться, концентрироваться и отделяться осаждением или фильтрованием, повышая тем самым чистоту газов и жидкостей.

Признана роль электромагнитных полей в геоэкологии как фактора антропогенного давления на геосферные оболочки Земли, повышающего ее температуру, так и защиты биотопов, биогеоценозов, экосистем и среды обитания.

Очистные устройства с применением электрического поля могут компоноваться с другой аппаратурой в целях создания универсальных сооружений многоцелевого назначения. Электроочистные устройства компактны, высокоэффективны и достаточно экономичны. Большим

достоинством метода электроочистки является то, что он позволяет создавать унифицированную аппаратуру для обработки дисперсий, различных по химическим и физическим свойствам. Эксплуатация электроочистных установок открывает широкие возможности автоматизированного управления.

Актуальность темы

В связи с освоением космоса, природных богатств в районах Сибири, Крайнего Севера, Дальнего Востока, мирового океана актуальными становятся вопросы экологической безопасности и инженерного обеспечения жизнедеятельности и функционирования отдельных лиц и коллективов в экстремальных условиях строительства и эксплуатации космических станций, баз и хранилищ, нефтегазопроводов, морских буровых платформ, транспортных систем.

Выдыхаемый человеком воздух в значительной степени определяет характер накапливающихся в герметичной кабине или в помещении различных продуктов жизнедеятельности, в том числе воды. Большое значение имеют процессы ее обеззараживания. Вопрос регенерации воды из мочи - урины находится на стадии решения, целесообразно совершенствование методов этого процесса. Например, повторное использование воды из урины позволило бы обеспечить около 50 % всей потребности коллективов, в том числе экипажей транспортных средств, космонавтов в питьевой воде. Целесообразны поиски принципиально новых способов удаления отбросов.

Проблема обеспечения экологической безопасности – закономерное следствие расширения сферы техногенного воздействия при нефтегазодобыче как на суше, так и на шельфе. Изменение состава элементов гидросферы, по существу, представляющих собой системы с жидкой дисперсионной средой, сказывается на здоровье людей, что делает необходимым разрушение этих систем с извлечением и утилизацией

дисперсной фазы загрязнений. Это связано и с очисткой нефтепродуктов и нефтесодержащих вод.

Состав комплекса жизнеобеспечения, его функции и основные характеристики определяются исходя из ограничений со стороны окружающей среды или технического средства (типа, задач, длительности функционирования, количества, состава и программы деятельности коллектива). Именно с этой точки зрения актуальна разработка методов регенерации воды и воздуха из отходов с применением электрообработки, аппаратура для реализации которой в 2-5 раз по удельным массогабаритным характеристикам меньше традиционных аппаратов. Следует, также, иметь в виду, что, например, для транспортных проектов нефтегазодобывающих фирм, космических кораблей при увеличении длительности нахождения в гермоотсеках и численности экипажа комплекс систем жизнеобеспечения все более усложняется. Наряду с подсистемами, основанными преимущественно на запасах, начинают включаться регенеративные звенья, обеспечивающие замкнутый цикл. Электрообработка же, как известно, наиболее универсальный, малооперационный процесс, легко поддающийся управлению и автоматизации.

Значительный разброс характеристик отходов жизнедеятельности, например, по составу, электропроводности делает целесообразным использование универсальных методов обработки.

В последние годы повысилась степень износа очистных сооружений, что в условиях снижения потока загрязнений от спада производства привело при уменьшении валовых к росту удельных на единицу продукции загрязнений, нарушающих биотическую регуляцию окружающей среды

Цель работы

Разработать технологическую оптимизационную модель управления электрообработкой жизнеобеспечивающих дисперсных систем в условиях

воздействия антропогенного фактора, включая их очистку от неорганических и органических материалов и обеззараживание в электрических полях повышенной напряженности.

Основные задачи

В соответствии с поставленной целью решались основные задачи исследований:

- изучить возможность использования электрокинетических эффектов, включая диполо- и диэлектрофорез, в электрических полях повышенной напряженности для разделения систем типа "Т-Г", "Ж-Г", "Т-Ж", и "Ж-Ж";
- феноменологически описать физико-химические процессы в межэлектродном промежутке и на границе раздела фаз при прохождении постоянного и переменного токов в предпробойных режимах;
- разработать и назначить технологические параметры разделения дисперсий и оптимальных схем очистки, включая схемы не содержащие блоки механического фильтрования;
- установить режимы работы технологического оборудования для электроосаждения дисперсной фазы и повышения его барьерной устойчивости;
- провести физико-химическую и медико-биологическую оценку эффективности и надежности предложенных технологий;
- предложить принципы автоматизации аппаратов, процессов и технологий электрообработки;
- отработать элементы промышленного освоения технологий электроочистки бытовых и промышленных газов и жидкостей.

Научная новизна

- Установлены закономерности разделения дисперсных систем в электрических полях повышенных напряженностей, в том числе предпробойной, в зависимости от электрокинетических свойств частиц дисперсной фазы и при их подзарядке.

- Предложена расширенная и уточненная классификация методов электрообработки систем неорганических и органических веществ с газовой и жидкой дисперсионными средами.

- Выявлено повышение эффективности интенсификации процессов кондиционирования дисперсионных сред и разрушения дисперсных систем комплексом электрических воздействий (КЭВ), совершенствование которого предложено включением в него новых приемов воздействия

- Показано, что в молекулярном масштабе эффекты неоднородного электрического поля проявляются и делают возможным кондиционирование дисперсных сред применительно к экологии водоснабжения, удаление химикалиев, фосфорорганических соединений, армина, уменьшение токсичности выхлопных газов автомобилей.

- Предложена феноменологическая модель разделения дисперсий в электрических полях повышенной напряженности в связи с термодинамическими иерархическими аномалиями дистанционного и ориентационного порядка и созданы научные основы технологий электроразделения дисперсных систем.

Обоснованность и достоверность представленных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций базируется на использовании теоретических разработок по электрообработке дисперсных систем с газовой и жидкой дисперсионными средами, обширном экспериментальном материале, полученном в результате более чем 30-летних исследований. Эффективность предложенных технологий подтверждается их внедрением при освоении новых месторождений и в нефтегазодобыче на территориях и шельфе, при производстве строительно-монтажных работ в приобъектных условиях

Практическая значимость и реализация работы

- Идентифицированы физико-химические и электрокинетические свойства природных и антропогенных жизнеобеспечивающих дисперсных

систем с целью их охраны и рационального использования на базе электротехнологий.

- Предложены технологии и конструкции для воздействия на аэрозоли и промаэровыбросы, нефть, нефтепродукты, газовый конденсат, жидкости гидросистем строительно-дорожных и транспортных устройств, поверхностные, подземные, сбросные воды электрическими полями повышенной напряженности, измерители высокого напряжения.

- В технологических схемах с использованием электрообработки предусмотрены устройства электрообезвреживания и концентрирования осадков и термообработки отходов с плазменным процессом во взвешенном кипящем слое, с замораживанием и размораживанием низкодисперсных гидродисперсий – безотходными природозащитными процессами, экологически и технически безопасными конструкциями и сооружениями.

- Разработки использованы при сооружении и эксплуатации баз, хранилищ, домов и пригрузов из монолитного бетона, реконструкции очистных сооружений, в персональных электроводоочистителях для водоснабжения населения, удаленных от центров коллективов, полевых партий.

Апробация работы

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на: международных и межгосударственных конгрессах "ЭКВАТЭК" (Москва, 1998, 2004), ВэйстГэк (Москва, 2005); симпозиумах, 16 конференциях и семинарах в Москве, Санкт-Петербурге, Томске, Омске, Тюмени, Екатеринбурге, Великом Устюге, Сургуте, Пензе, научных чтениях «Белые ночи» (Санкт - Петербург, 1995-2004), на комплексе научных мероприятий стран СНГ (Одесса 2001 - 2003) и начиная с 1997 на вузовских конференциях и семинарах. Процессы, аппараты и устройства для разделения дисперсных систем с

использованием электрообработки применительно к водообеспечению и очистке сбросных вод внедрены на объектах муниципального управления, рекомендованы в проектах очистных сооружений и системах обращения с отходами.

На защиту выносятся следующие положения:

- создание научных основ оптимизации технологии электроразделения дисперсных систем во внешних электрических полях повышенной напряженности, включая диполь- и диэлектрофорез;

- при строительстве объектов нефтегазодобычи, в том числе плавучих платформ, транспортировании жизнеобеспечивающих ресурсов и их кондиционировании наиболее эффективно использование процессов разделения дисперсных систем электрообработкой, что позволяет снизить удельные массогабаритные характеристики и энергоемкость процессов и аппаратов в три- пять раз по сравнению с традиционными технологиями;

- завершенность схем обработки жизнеобеспечивающих ресурсов и регулирования их свойств путем обращения с дисперсиями как низкоконцентрированными, представляющими собой почти только дисперсионные среды, так и с высококонцентрированными низкодисперсными, которые могут включать электрообезвоживание, плазменные технологии, предварительное замораживание-размораживание, автоматизированное управление локальными процессами электроводоочистки, их промышленное освоение.

Публикации

По теме диссертации опубликованы 80 работы, в том числе две монографии.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 3 частей, 6 разделов, выводов. Работа содержит 262 листа машинописного текста, 68 рисунков, 48 таблиц, список литературы из 104 наименований

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель и поставлены задачи исследований, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов; приведены основные положения, выносимые на защиту. Рассмотрено существо проблемы разработки электротехнологий разделения дисперсных материалов, которые далее обосновываются в самой диссертации. Обобщены основные обзорные работы, а анализ частных вопросов, изложенных в литературных источниках и развиваемых в данной работе, помещен в соответствующих разделах диссертации.

В разделе 1 изучен состав загрязнений воздуха гермоотсеков, закономерности заряжения частиц аэрозолей, их осаждения, электрофилътрования промазровыбросов с неорганической дисперсной фазой в производстве цемента.

Геологические и метеорологические факторы, особенности конструкций зданий, проникновение в помещение воздуха, выделившегося из почвы, с которым в дом попадают загрязняющие вещества из атмосферы, схожие с теми, что обнаруживаются в помещении. Таким образом, мы живем и работаем, даже если находимся в тщательно очищенном воздухе гермоотсеков, в том числе технологических, в очень сильно разбавленных аэрозолях. Эти аэрозоли могут затруднять реализацию высоких технологий, служить источником попадания в жидкие электроизоляционные материалы высокодисперсных частиц и капель, которые со временем значительно снижают электрическую прочность жидких диэлектриков.

С наличием зарядов в аэрозолях связана безопасность электроэнергетических и технологических процессов, которая может быть повышена созданием нового класса малогабаритных жидкостных

приборов контроля опасных характеристик гомосферы – измерителей концентрации пылей, высокого напряжения, хемотронных и т.д., позволяющих, в конце концов, предотвращать пожары и взрывы.

Производительность электронно-ионных процессов определяется величиной напряженности электрического поля и величинами зарядов, которые приобретают частицы дисперсной фазы, в том числе при диффузионной зарядке перед поступлением их в рабочий промежуток или объем.

При использовании генератора отрицательных ионов с электрическими параметрами $U = 75$ кВ, $I = 0,5$ мА при плотности ионов $\sim 5 \cdot 10^5$ см⁻³ на расстоянии 1,5 м от генератора было отмечено уменьшение числа колоний микроорганизмов после отключения генератора со 150 до 1–10 в чашке Петри за время от 13 до 38 мин. Вторая серия опытов дала уменьшение числа колоний со 106,8 до 5–6 за 18–78 мин.

Расчетные соотношения концентрации, скорости и времени дрейфа частиц ионизированного воздуха для рассматриваемой гипотетической модели дают время осаждения порядка десятка - сотен минут, что подтверждается экспериментальными, в том числе и оригинальными данными по осаждению ионизированного биоаэрозоля.

Были проведены исследования возможностей повышения эффективности работы пластинчатого электрофильтра для улавливания цементной пыли производительностью 1000 м³/ч

При испытании лабораторной модели электрофильтра устройство предварительной зарядки представляло собой систему электродов "газопроницаемая плоскость (сетка) – плоскость с иглами", установленную в начале электрофильтра. В процессе испытания снималась вольт - амперная характеристика системы зарядки и варьировалось межэлектродное расстояние и расстояние между иглами

Оптимальная геометрия электродов использовалась для оценки эффективности электрофильтра на экспериментальной установке. В зоне зарядки на сетке осаждается 60–80 % всей пыли, поступающей в электрофильтр. При этом увеличивается гидродинамическое сопротивление току и возникает необходимость установки встряхивающего механизма, так как наблюдается интенсивное осаждение частиц на осадительных электродах, вследствие чего напряженность электрического поля резко уменьшается, и, в конечном итоге, значительно снижается производительность электрофильтра. Эффективность системы коронирующих электродов в работе оценивалась по трем показателям: току коронного разряда, распределению пыли по длине электрофильтра и экономичности.

Экспериментальные испытания показали, что по степени равномерности распределения аэрозоля вдоль электрода все традиционные системы (кроме устройства с предварительной зарядкой) эквивалентны, а пылеунос в системе электродов "цилиндрические провода с переменным шагом" при чередовании зон активного заряжения и бестоковых зон осаждения наименьший. Электрофильтры производительностью от 1000 до 3000 м³/ч успешно эксплуатируются на промышленных предприятиях.

Пондеромоторные силы в технологиях электроразделения аэрозолей использовались в экспериментах по осаждению капель и частиц дисперсной фазы в электростатическом фильтре –преципитаторе. Фильтр представлял собой совокупность последовательно соединенных плоских кассет с параллельными электродами, имеющими наклон 75° к плоскости кассет. Расстояние между электродами - 4 мм; длина электродов – 140 мм; ширина – 16 мм; число пар – 16; площадь сечения кассеты – 140 x 150 мм². Отдельные кассеты могут собираться в блоки.

Осаждение частиц дисперсной фазы обуславливается эффектами действия на частицы механических пондеромоторных сил неоднородного

электрического поля у края конденсатора, направленных к пластинам. Кроме того, между частицами действуют пондеромоторные силы, приводящие к агрегированию; скорость дрейфа агрегатов к осадительным пластинам при этом увеличивается. Осаждение, также, имеет место при гидродинамическом обтекании пластин частицами.

Результаты расчетов вероятности осаждения частиц показывают, что при радиусе частицы $r_0 = 1$ мкм; $\varepsilon = 2,5$; скорости потока воздуха $V_0 = 1$ см/с; расстоянии между пластинами $2h = 4$ мм; напряженности поля $E_0 = 12,5$ кВ/см; вязкости среды $\eta = 1,82 \cdot 10^{-5}$ Па·с, $u_{\min}/h = 0,8$ вероятность осаждения $p_1 = 0,2$.

По второму механизму при $E_0 = 12,5$ кВ/см и счетной концентрации частиц $n_0 = 5 \cdot 10^5$ см⁻³ ($\gamma \approx 2$ г/м³) скорости коагуляции $\Phi = 2 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹ вероятность осаждения, соответственно, $p_2 = 0$.

При гидродинамическом обтекании вероятность осаждения $p_3 = 0,2$.

Основные экспериментальные результаты осаждения частиц под действием пондеромоторных сил соответствуют теоретическому расчету.

В разделе 2 рассмотрены системы с жидкими средами, включая технические суспензии диэлектрических жидкостей, водно-топливные эмульсии, электрообработка нефтепродуктов, электродегидраторы, очистка легких топлив от воды и механических примесей, очистка технических жидкостей от механических примесей, электродепарафинизация.

Показано, что в неполярных средах независимо от химической природы дисперсных частиц их движение осуществляется за счет пондеромоторного взаимодействия. Отмечается, что изучение поведения заряженных частиц в газовых и жидких неполярных дисперсионных средах связано с созданием методов и устройств очистки аэрозолей и промазровыбросов от дисперсных частиц, диэлектрических и слабопроводящих жидкостей с использованием внешнего электрического

поля. В условиях сильноразмытого диффузионного слоя в связи с зависимостью ζ - потенциала дисперсных частиц от напряженности поля расчет поведения дисперсной фазы затруднен. В условиях избытка свободных носителей заряда в системе постоянство электрокинетических характеристик более вероятно. В таком случае возможна аналогия между электрополевыми эффектами в газе и жидкой неполярной дисперсионной среде. Электропроводность последней обусловлена ионизированными примесями, электронной проводимостью и связана с пониженным потенциальным барьером для электронной эмиссии на границе раздела жидкость - электрод и космическим ионизирующим излучением. Из-за малости свободного пробега электрона в углеводородных жидкостях можно считать достаточно большой вероятностью образования медленных отрицательных ионов, которая в основном и отличает рассматриваемые системы от газов. Допускается появление ионов из-за частичной диссоциации молекул дисперсионной среды.

В искусственно созданных условиях избытка носителей зарядов явления исчезновения при включении электрического поля можно пренебречь. Хотя в жидких дисперсионных средах движение частиц осложняется высоким значением вязкости η , более низкая подвижность зарядов позволяет получить их более высокую объемную плотность. Тогда электрообработка, например, с целью разделения фаз должна быть эффективна как для систем с газовой, так и жидкой дисперсионной средой. Частицы сигаретного дыма с размером частиц $\sim 0,2$ мкм, пропущенного через зону неоднородного электрического поля острия с $U=10$ кВ, не осаждаются, твердые же частицы дыма, диспергированные в керосине, эффективно удаляются.

При одном и том же расстоянии между центрами частиц r силы изменяются квадратично с изменением радиуса частиц и при достаточно больших концентрациях могут привести к коагуляции за время порядка

секунд и менее, то есть агрегат образуется довольно быстро. Время, за которое частицы, находящиеся на расстоянии r_2 друг от друга, сблизятся до расстояния r_1 , определяется по известному выражению

$$t \cong \frac{2\eta(\varepsilon_a + 2\varepsilon_i)^2}{5\varepsilon_o\varepsilon_i E^2(\varepsilon_a - \varepsilon_i)^2} (r_{2np}^5 - r_{1np}^5),$$

где ε_o - диэлектрическая постоянная, равная $8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ε_a , ε_i - диэлектрическая проницаемость частицы и среды соответственно; r_{2np} , r_{1np} - приведенные расстояния, соответствующие начальному и конечному положению частиц и равные $r_i/2a$.

Если сила F незначительна для единичных частиц при $r \gg a$, то для агрегата из ma частиц при некоторых значениях m она ведет к миграции агрегата к электроду, где он закрепляется и служит началом образования мостика в межэлектродном зазоре.

С помощью приведенного выше выражения можно вычислить напряженности поля, при которых в объеме суспензии произойдет коагуляция с образованием вторичной частицы без учета коллективного взаимодействия. Хотя гептан обладает малой электропроводностью, время, за которое диэлектрические свойства среды не изменяются за счет электрохимических процессов, составляет не более 10 секунд. Используя формулу, значения $\varepsilon_i=1,82$; $\varepsilon_a=3,3$; $\rho = 1120$ кг/м³, $\eta = 0,00409$ Па·с, представления о кубической упаковке частиц, получим для $t = 1$ сек

$$E \approx \sqrt[5]{\left(\frac{10^5}{C}\right)^5},$$

где E не зависит от радиуса частиц, а только от их объемной концентрации C (в отн. ед).

Наблюдения за поведением частиц во внешнем электрическом поле в неполярной жидкости показывают, что частота колебания частицы

зависит от свойств дисперсионной среды – ее вязкости, диэлектрической проницаемости, концентрации более мелких, чем сама частица, дисперсных частиц. Оказывается, что колебательное движение продолжается некоторое время после снятия поля. Агрегаты, образовавшиеся в поле, через некоторое время скачкообразно перестраиваются в новые положения или необратимо распадаются. Это можно объяснить на примере двух поляризованных частиц, образующих в поле агрегат, сориентированный по полю. Образование агрегатов происходит вследствие поляризации самих частиц или, возможно, их сольватных оболочек. Сольватные оболочки у контактирующих частиц в агрегате упруго сжаты. После снятия поля, если рассматривать диполь как эквивалентный конденсатор, образованный частицами из-за отсутствия проводящих ионных оболочек, он не может разрядиться достаточно быстро. Время разряда будет определяться эквивалентным сопротивлением сольватной оболочки или граничных слоев. Следовательно, от этого сопротивления будет зависеть время существования диполя после выключения поля. Позже частицы под действием упруго сжатых оболочек растолкнутся.

Таким образом, даже при высоких напряженностях поля под действием поляризационных сил контактирующие частицы не сближаются на расстояния, при которых возможно касание их поверхностей. Это подтверждает факт, что частицы полимеров окружены граничным слоем жидкости, проявляющим аномальные свойства и создающим расклинивающее давление. Указанное находится в соответствии с представлениями о структурно-сольватном слое как факторе агрегативной устойчивости.

Для выяснения закономерностей автоколебательного движения частиц и возможностей технического использования эффекта изучалось поведение капель и шариков со сферической электропроводной поверхностью

радиусом от 1,5 до 2,5 мм во внешнем электрическом поле Шарики представляют собой полимерный полый сфероид, поверхность которого металлизирована серебром, медью или латунью.

В качестве несмешивающихся дисперсионных сред и фаз, близких по характеристикам, с широким диапазоном вязкостей и нерастворимых друг в друге, использовались четыреххлористый углерод, о-ксилол, гептан, толуол, диоксан, фторорганические жидкости и их смеси, полиметилсилаксановые жидкости ПМС-100 как один из компонентов, а другой – касторовое масло.

Автоколебательные движения изучались в системе никелевых и стальных электродов. В качестве измерительной аппаратуры использовались киловольтметр С-196, частотомер ЧЗ-30, осциллограф С-1-19Б, катетометр, микроамперметр М-95 и др.

Во время колебаний в межэлектродном пространстве шарик переносит электрический заряд и на сопротивлении выделяются импульсы тока, частота которых зависит от напряжения питания. Вязкая среда оказывает дополнительное сопротивление движению шарика, поэтому частота колебаний шариков, а, следовательно, и частота импульсов тока на сопротивлении будут зависеть от вязкости измеряемой жидкости в сосуде.

Изучалась зависимость частоты колебаний шарика в диоксане и толуоле от напряжения на плоских полированных электродах, размером 40х40 мм, выполненных из нержавеющей стали, укрепленных под углом 20 градусов друг к другу, при верхнем зазоре d_g от 1 до 7 мм и радиусе шарика a 1,5; 2,0; 2,5 мм.

Изменение частоты, по всей видимости, связано с изменением дебаевского радиуса экранирования, границы сдвига и, возможно, вязкости дисперсионной среды, процессами коагуляции и коалесценции вещества, образующейся дисперсной фазы, энергией взаимодействия частиц и шарика

Перемещения столба жидкости на основе смесей из фторорганических соединений и органических растворителей в зазоре между параллельно расположенными стержневыми или цилиндрическими электродами увеличиваются с ростом напряжения по квадратичной зависимости. Жидко-жидкостные системы более чувствительные, чем газо-жидкостные за счет влияния на эффект втягивания разностей плотностей жидкости. На их основе был предложен модельный ряд измерителей высокого напряжения.

Сложная феноменология поведения систем с жидкой неполярной дисперсионной средой, частиц фазы в них, включая автоколебательные процессы в электрическом поле, расширяет наши представления о процессах разрушения устойчивости загрязненных жидкостей электрообработкой и целесообразности использования последней в процессах интенсификации нефтеотдачи. По частоте автоколебания макрозаряда или дисперсной частицы и высоте поднятия жидкостей или границы их раздела вдоль электрода можно судить о физико-химических и реологических свойствах конкретных неполярных жидкостей и величине приложенного напряжения.

В разделе 3 рассматривается электрообработка водных фрагментов геоболочки земной коры, включая изучаемые гидрогеоэкологией и, в первую очередь, антропогенно измененные подземные и поверхностные источники, в том числе сточными, подтоварными, льяльными, используемыми для поддержания давления пласта водами.

В низкоконтрированных системах, где расстояние между частицами значительно превышает значимое для силовых поляризационных эффектов, возможно использование совокупности линейных и квадратических эффектов по полю. Это означает, что принципиально возможно разделение системы с наличием одной-двух частиц в безграничном объеме, что чрезвычайно важно для соответствующих

технологических процессов. Как в неполярных, так и полярных дисперсионных средах поляризационные силы взаимодействия между частицами описываются сходными формулами в том смысле, что они содержат величину $E^2 a_1^3 a_2^3 / r^4$, и это является подтверждением дипольного характера сил. Это же означает, что электрические параметры режима электрообработки наиболее важны для реализации процессов. Используя значения напряженности поля, обеспечивающие минимум потенциальной энергии на кривой взаимодействия частиц, возможно получить из минимально концентрированных максимально концентрированные системы при помощи возможных следующих технологических стадий обработки: зарядка частиц – электрофорез – дипольная коагуляция – осаждение или диполофорез (дизэлектрофорез) – дипольная необратимая коагуляция – седиментация. Дообработка, в случаях требования низких значений остаточного содержания дисперсионной среды в осадке, может быть обеспечена затем, например, электроосмосом и электрообезвоживанием, при которых полем транспортируются не дисперсные частицы, а сама среда, а осадок приобретает дилатантные или тиксотропные свойства.

С позиции энергосбережения можно пойти по другому пути – искусственно заряжать частицы введением электролита – зарядчика, концентрировать и осаждать дисперсную фазу при умеренных значениях E с использованием электрофореза.

Исследование электрообработки водных дисперсных систем в электрических полях повышенной напряженности проводилось применительно, в первую очередь, к биодисперсиям, так как обеззараживание воды является ключевой технологией в многоступенчатом процессе водоподготовки. Учитывая это, в работе применялся комплекс наиболее эффективных приемов электрообработки, а именно: исследовались в составе комплекса электрических воздействий -

КЭВ возможности одновременного использования однородного и неоднородного поля в диапазоне критических напряженностей пульсирующего неоднородного поля пробивных напряженностей, генерирующего электрический разряд малой мощности.

При использовании таких электрических полей диполь - дипольное агрегирование необязательно должно быть обратимым. Гетерокоагуляционные процессы с участием конденсированных микрообъектов, в качестве которых при реализации разряда малой мощности, генерируемого с электродов, содержащих Fe, может выступать гидроокись железа, вызывают прочную "упаковку" агрегатов в электрическом поле, а затем флокуляцию "пакетов"

Как известно из диффузионно-электрической теории неравновесных поверхностных сил, фазовые переходы в случае твердой поверхности раздела вызывают неравномерность двойного слоя, который продуцирует электрическое поле большого радиуса действия.

Таким образом, до и после действия полей критических напряженностей электрокоагуляции весь объем дисперсной системы насыщен релаксирующими активными электрическими центрами. При обработке дисперсионной среды - водопроводной воды электрическим разрядом малой мощности нами действительно наблюдалось образование коллоида $\text{Fe}(\text{OH})_3$, минующего стадию окисления $\text{Fe}(\text{OH})_2$, которое часто вызывают хлорированием или барботажем воздуха. Через 10–15 минут оптическая плотность дисперсионной среды достигала исходной величины, а в литровом объеме образовалось 3–5 флокул радиусом до 5 см. Эффект лишь частично повторялся при разрушении флокул.

При определенной напряженности электрического поля в ячейке с электродами, между которыми находится дисперсная система с жидкой дисперсионной средой, электрическая прочность межэлектродного промежутка нарушается и происходит электрический разряд. Характер

последнего существенно зависит от предпробивных процессов и играет значительную роль в физико-химическом воздействии на систему. Это не противоречит выводам работ по исследованию высоковольтного электроимпульсного разряда (большой мощности) в жидкостях различной электропроводности. Поведение дисперсий с заряженными частицами при электрическом разряде малой мощности изучалось на частицах водных суспензий кварцевого песка, кембрийской глины и др., так как проходящие в этих системах эффекты, очевидно, можно реализовать в различных видах технологий. Во всех системах после воздействия электрическим разрядом наблюдается коагуляция с образованием агрегатов до $2 \div 5$ мм, которые седиментируют по типу неустойчивых суспензий. Более подробно изучалось изменение дисперсного состава и кинетики седиментации до и после разряда для суспензий кембрийской глины в воде. Были сняты зависимости процентного осаждения взвеси от времени и построены графики скорости осаждения соответствующей доли от времени седиментации для разных концентраций.

При использовании в составе КЭВ воздействий однородным и неоднородным электрическим полем и электрическим разрядом малой мощности на водные дисперсии минеральных и органических веществ в исследованном диапазоне концентраций фазы ($2-1 \cdot 10^3$ мг/дм³) степень разделения достигает более 99,9 %. Одновременно снижается содержание растворенных веществ и улучшаются органолептические качества. После обработки КЭВ болотной воды ее цветность снизилась с 400 до 9 градусов, запах с 5 до 1, вкус с 3 до 1 балла, окисляемость с 18,8 до 5,6 мг О₂/л, общая жесткость с 2,2 до 1,4 мг-экв/л, а количество аммиака уменьшилось с 0,8 до 0,3 мг/дм³.

Некоторый обессоливающий эффект интересен и с точки зрения увеличения межрегенерационного периода в случае последующего использования ионнообменных фильтров.

В связи с развитием промышленности микробиологического синтеза повышается актуальность технологии управления жизнедеятельностью микроорганизмов, в частности, и вопросов бактериальной безопасности водных систем.

Одновременное действие электрического разряда малой мощности - ЭРММ и однородного электрического поля, создаваемого сетками с ячейками ~40 мкм, вызывает меньший бактерицидный эффект, чем каждое воздействие раздельно. Для спорообразующих антракоида с исходной концентрацией $\sim 10^5 \text{ см}^{-3}$ он составляет 87–94,5 %, в то время как действие отдельно поля сетчатых электродов дает величину 93,5–96 %, а разряд 93,9–95,4 %. Обеззараживание биодисперсий кишечной палочка *E. Coli* той же концентрации КЭВ изучалось в режиме ЭРММ и подачи на стержневые электроды непробойных импульсов. Эффективность составила 99,54–99,75% и 92,5–96,8 % соответственно.

При последовательном действии ЭРММ и однородного поля блок ЭРММ подключался на вход многосекционного электрокоагулятора. При электрообработке биодисперсии спорообразующих антракоида не удавалось получить эффект выше 95,7 %. Поэтому в дальнейшем на выходе установки был смонтирован фильтр с полимерной загрузкой (полиуретан) и регулируемым размером пор, что позволило получить эффективность 97,5 – 99,5 % с меньшим количеством работающих разрядных электродов

Применение неоднородного электрического поля, создаваемого системой электродов "коаксиальные струна-цилиндр", повышает эффективность разделения биосистем и дает стабильно высокие значения эффективности метода. Концентрируясь в зоне большей неоднородности поля струны, бактериальные агрегаты необратимо коагулируют.

В связи с выяснением максимального эффекта из исследованных наборов воздействий, КЭВ с применением неоднородного электрического поля изучали на возможность удаления из воды имитатов вредных

веществ (метиленового голубого и кристаллического йода). Это интересно не только с прикладной точки зрения, но и для выяснения максимальной границы дисперсности исследуемых систем, приближающейся к молекулярной, до которой эффективна электрообработка, а также в плане предотвращения террористических действий и их последствий. Оптическая плотность растворов снижалась - метиленового голубого в 40 раз, йода - до 0.

Для реализации КЭВ созданы портативные транспортируемые, автоматизированные установки производительностью более $0,25 \text{ м}^3/\text{ч}$, в которых использована последовательность воздействий: электрический разряд малой мощности ($E \approx 5000 \text{ В/см}$), однородное и неоднородное электрическое поле ($E \approx 40 \text{ В/см}$), электрофлотационное накопление и отделение скоагулированных частиц, в том числе в полимерном фильтре с регулируемым размером пор.

Диапазон повышенных напряженностей, приемлемых для электроконцентрирования дисперсной фазы, таит в себе достаточно перспективные и малоизученные механизмы. В определенной мере они являются технологическим прорывом в промышленной экологии и позволят избежать целого ряда традиционных сложных химико-технологических процессов.

Изменение производительности аппаратов при реализации механизмов неоднородного поля с помощью блока электрического разряда малой мощности выполнялась путем регулирования длины корпуса, набираемого из шайб с электродными системами типа "стержень- стержень", а также изменением конфигурации неоднородного поля путем применения систем электродов "игла- игла", "игла-цилиндр", "струна-цилиндр". В гидроразрядном узле совмещалось действие электрического разряда и внешнего однородного электрического поля. Аппараты, создающие однородное электрическое поле позволяли плавно менять межэлектродное

расстояние, каждая секция блока КЭВ могла иметь отличную от других напряженность поля. Обеспечивалась, также, возможность одно- и многопоточного режима электрокоагуляции с горизонтальным, вертикальным или иным движением среды.

В дальнейшем многообразие исследованных электрогидродинамических режимов послужило основой при выборе той или иной конструкции электроводоочистителя для кондиционирования и доочистки питьевой, в том числе водопроводной, воды.

На первом этапе изучалась эффективность КЭВ при обработке поверхностных и подземных вод, а далее – при доочистке водопроводной воды.

После опытов по выяснению эффективности разной последовательности каждого вида воздействия была подтверждена оптимальная схема обработки: электрический разряд малой мощности (ЭРММ) → однородное электрическое поле коагулятора (ЭК) → фильтрация через полимерный упругий материал с регулируемым размером пор (Φ) или отстаивание (О) → дообеззараживание ультрафиолетовыми лучами (УФО).

Метод КЭВ улучшает весь диапазон параметров на 10÷20 % больше, чем воздействие каждой составляющей метода в отдельности при тех же параметрах, что и в комплексе.

Вода поступала сначала в разрядник, затем в электрокоагулятор и, наконец, в фильтр. Предусмотренные схемой установки блоки ультрафиолетового излучения и электроопреснения в этой серии опытов были отключены.

Уменьшение мутности обработанной КЭВ воды в зависимости от времени работы позволяет говорить о наличии переходного процесса, составляющего около 30 минут, что необходимо учитывать при пуске установок.

Аналогичное явление наблюдается при работе поляризационного электрофильтра аэрозолей, где время выхода на режим составляет до 10 ÷ 20 минут, а также отмечено при опытной эксплуатации электрокоагулятора для осветления растворов красителей.

При обработке комплексом электрических воздействий в каждом элементе схемы, где есть растворяющийся электрод, образуется гидроксид металла электрода. Представляют интерес исследования совместного воздействия, например, сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$ и электрохимически полученного алюминия (Al^{+3}). Оптимальная концентрация комплексного реагента, соответствующая получению фильтрата по цветности, не превышающего 15 градусов, и остаточному содержанию Al^{+3} не более $0,1 \text{ мг/дм}^3$ при исходной жесткости воды $0,9 \text{ мг-экв/л}$ составляла $1,8 \text{ мг/дм}^3$ при соотношении вводимых электрохимического Al^{+3} и сульфата алюминия 1:2 или 2:1. Анализ изменения физико-химических показателей качества коагулированной воды в зависимости от вида и концентрации реагента показал, что при использовании электрохимического реагента полученный фильтрат удовлетворял требованиям СанПиН 2.1.4.1074 по цветности, величине рН и остаточному Al^{+3} при концентрации $1,2 \text{ мг/дм}^3$, что в 2 раза меньше оптимального содержания $2,4 \text{ мг/дм}^3$ сульфата алюминия.

Разброс показателей качества воды вызван временными, в том числе сезонными их колебаниями, обусловленными как географическими особенностями водосбора, так и сложившимися традициями технологической деятельности хозяйствующих субъектов, расположенных выше по течению места отбора проб и находящихся в бассейне водосбора.

В разделе 4 рассматривается технология разделения гидродисперсий с неорганической природой твердой фазы в электрическом поле с предварительной подзарядкой частиц для электрофоретического массопереноса в зависимости от рН дисперсионной среды, материала

электродов и режимов электрообработки с использованием переполюсовки. Отмечено, что беспереполюсовочный режим повышает эффективность электрообработки в дисперсиях с полярной дисперсионной средой и снижает технологические энергозатраты при очистке жидкостей. Удельная электропроводность в случае переполюсовки практически не меняется, а даже несколько понижается, в то время как без перемены полюсов она за 150 секунд при 30 В возрастает с $1,87 \cdot 10^{-3}$ до $3,67 \cdot 10^{-3}$ Ом⁻¹·см⁻¹. При этом оптимальный режим – напряжение на электродах составляет 50÷60 В, а время электрообработки 1÷2 минуты.

Выяснялась возможность осветления гидродисперсий с предварительной зарядкой частиц с органической природой дисперсной фазы. Использовались модельные системы с частицами из акрилатного сополимера и сополимера стирола с нитрилакриловой кислотой. Установлено, что существует оптимальная концентрация электролита – зарядчика Na₂KMЦ, равная 0,4÷0,8 %, соответствующая верхней границе дзета - потенциала ($\xi \approx 200$ кВ), а зависимость прозрачности водных дисперсий сополимера от времени электрообработки и концентрации зарядчика носит релейный характер в оптимальных режимах при $E = 40 \div 60$ В/см и $t = 1 \div 2$ мин.

В разделе 5 исследовался процесс нарушения устойчивости эмульсии типа "нефть в воде" с помощью неоднородного электрического поля и гидроокиси, получаемой растворением под действием внешнего поля материала электрода, применительно к задаче очистки нефтесодержащих сточных вод. Эти воды представляют собой прямые нестабилизированные эмульсии с достаточно высокой агрегативной и кинетической устойчивостью. Для частиц и капель дисперсной фазы этих вод характерно наличие двойного электрического слоя незначительной толщины, что объясняется присутствием в дисперсионной среде (в случае судовых нефтесодержащих вод — морская вода) значительного количества

электролитов. Высокую агрегативную устойчивость нефтесодержащих вод следует объяснять формированием на глобулах воды оболочки из молекул дифильного строения, препятствующей слипанию частиц.

При наложении на дисперсии с полярной средой и диэлектрическими каплями фазы неоднородного электрического поля вследствие поляризации двойного ионного слоя или материала частицы возникают диполофоретические или пондеромоторные силы, которые вызывают направленное движение частиц, что может быть использовано при разделении нефтеводяных эмульсий. Диполофоретические силы могут существенно влиять на концентрирование дисперсной фазы.

Представляло интерес изучение следующих параметров, оказывающих влияние на эффект разделения водонефтяных эмульсий в неоднородном электрическом поле:

- угла наклона образующей конуса стенки диполофоретической ячейки, являющейся катодом, характеризующего неоднородность поля;
- величины подаваемого напряжения на электроды;
- производительности установки.

Напряжение на электродах имеет незначительное влияние на эффект очистки в пределах от 30 до 90 В. Дальнейшее его повышение почти не влияло на очистку, а снижение менее 30 В резко уменьшает степень разделения. В указанном диапазоне напряжений наиболее эффективны процессы электрофоретического концентрирования и диполь-дипольной коагуляции.

Как показали расчеты, при напряженности электрического поля, равной 35 В/см, чему соответствует напряжение на электродах 60 В, из совокупности сил, действующих на частицу нефти в неоднородном поле, наибольшее значение имеет сила диполофореза. При этой же напряженности электрического поля энергия диполь-дипольного взаимодействия превышает энергию ионно-электростатического

отталкивания и тем самым разрушается устойчивость данной нефтеводяной эмульсии

Исследование влияния материала анода на остаточное содержание нефтепродукта показало, что эффективность очистки нефтесодержащих вод при использовании растворимых (алюминиевых) электродов выше, чем при применении нерастворимых (графитовых) электродов. Это связано с образованием в очищаемой воде активных оксигидратов алюминия, обладающих сорбционной и адгезионной способностью. При исследовании очистки нефтесодержащих вод в неоднородном поле электродов "взаимно перпендикулярные плоскости" выявлено, что разделение не связано с эффектом электрофоретического концентрирования, а в основном происходит за счет диполофоретических сил.

Перенос заряженных частиц в процессе электрофильтрования обеспечивается в основном электрофорезом, но при концентрировании и удерживании частиц в ловушках основную роль играет диполофорез.

Таким образом, при обработке эмульсий в неоднородном электрическом поле главную роль играют процессы, связанные с воздействием на частицы диполофоретической силы и с нарушением устойчивости эмульсии за счет внешнего поля. Эти процессы приводят к коагуляции и коалесценции частиц и к флокуляции образующихся агрегатов.

При использовании растворимых электродов процесс очистки сводится к адсорбции частиц загрязнений гидроокисью металла электрохимически растворяющегося анода (хемосорбция). В работах многих исследователей в качестве электродов используется сталь и указывается, что в результате растворения электродов образуется коллоидная гидроокись железа, способствующая осаждению дисперсий. Однако о механизме происходящих явлений упоминается вскользь Сообщается лишь, что в основе способа лежит известный процесс анодного растворения металлов

и что возможно воздействие переходящих в дисперсионную среду и находящихся в ней ионов на двойной электрический слой дисперсных частиц.

В прианодном пространстве стального анода имеются так называемые истинные гидроокиси железа FeOOH и оксигидраты $[\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]_n$. Их отличие в том, что в первом случае они содержат воду в виде OH -групп, а во втором - координационно-связанную воду. Образующийся золь гидроокиси железа при анодном растворении металла заряжен положительно.

При дальнейшей полимеризации эти молекулы ориентируются целесообразно по 40–50 атомов в цепочке и послойно за счет координационно-связанной воды, образуя рыхлую неупорядоченную структуру гидроокиси железа

Между золем активной формы гидроокиси железа и высокодисперсными каплями нефтепродуктов происходит электростатическое и дипольное взаимодействие, а также химическое взаимодействие, носящее характер адсорбционного процесса — ионный обмен гидроксильных групп на органические радикалы. В ряде случаев может иметь место химическое взаимодействие анионов с катионами металла, образующего гидроокись.

В дальнейшем набор диполофоретических ячеек использовался как ступень тонкой очистки в опытно-промышленной установке для очистки судовых нефтесодержащих вод с исходной концентрацией 500 мг/дм^3 до концентрации $10\text{--}30 \text{ мг/дм}^3$.

Исследование разделения нефтеводной эмульсии в неоднородном электрическом поле растворимых электродов, эффективность которого может достигать более 80 % в оптимальном диапазоне напряжений, составляющем 30–60 В, показало, что значительная доля эффекта определяется сорбционными процессами, связанными с образованием

гидроокиси, что подтверждается более высокой эффективностью применения растворимых электродов по сравнению с нерастворимыми.

Изучалась возможность использования электрообработки для извлечения из промышленных сточных вод метилтретбутилового эфира с его исходной концентрацией $14,5 \text{ мг/дм}^3$, в том числе в присутствии метанола с концентрацией 6800 мг/дм^3 , нефтепродуктов до 200 мг/дм^3 , карбонатов и гидрокарбонатов натрия до 30000 мг/дм^3 , железа- $1,01 \text{ мг/дм}^3$ при содержании по сухому остатку 9500 мг/дм^3 . Электрообработка проводилась блоком электродов, создающих однородные и неоднородные электрические поля системы "Аквалон" с напряжением на электродах 24 В , межэлектродным расстоянием 3 мм . Время обработки от 6 до 120 мин. Материал электродов – алюминий, обработка которыми составляла 120 мин и алюминий + железо с одинаковой площадью электродов, время обработки 30 мин. Содержание МТБЭ в промышленных стоках после электрообработки блоком алюминиевых электродов снижалась до $6,8 \text{ мг/дм}^3$. После электрообработки в течение 60 мин содержание железа снизилось при использовании блока алюминиевых электродов до $0,41 \text{ мг/дм}^3$, железо- алюминевых -до $0,7 \text{ мг/дм}^3$; сухой остаток в первом случае- 9540 мг/дм^3 , а во втором – 9340 мг/дм^3

Рассмотрены вопросы электроосветления сточных вод сложного изменяющегося слабоидентифицированного состава текстильного производства, содержащие прямые кислотные, активные, металлокомплексные красители, которые имеют достаточно высокий модуль растворимости, а при определенных условиях могут создавать с водой истинные растворы, полукolloиды или коллоиды

Экспериментальные растворы готовили из промстоков в концентрационных соотношениях, пропорциональных объему сбрасываемых вод. Электрообработку при умеренном перемешивании вели в электрокоагулягоре объемом 300 мл с площадью электродов из сплава

АГМ-6, равной $14,4 \text{ см}^2$, межэлектродным расстоянием $1,2 \text{ см}$ и напряжением на электродах 12 В , после чего показатели очистки по девяти параметрам улучшились в некоторых случаях на порядок.

В разделе 6 рассматриваются технологии электрообезвоживания высококонцентрированных дисперсных систем. При очистке бытовых, промышленных, буровых, подтоварных вод, в сельскохозяйственном производстве образуется большое количество осадков, объемы которых затрудняют их перемещение, хранение, обработку.

Эксперименты по электрообезвоживанию силикатно — гидроокисных осадков во внешнем электрическом поле алюминиевых и железных электродов напряженностью от 20 до 300 В/см показали, что электрообработка как метод концентрирования не только не уступает по эффективности обычным реагентным методам, но и обладает существенными преимуществами, а в поле железных электродов с получением как продукта электрохимических реакций — гидроокиси железа, увеличивает сорбционные свойства последней к ионам разных элементов.

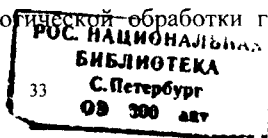
Обращает на себя внимание, что выявленная закономерность корреляции минимума ξ - потенциала, критической напряженности и максимума предельного седиментационного осадка для дисперсий огнеупоров, в том числе и предварительно коагулированных, распространяется и на другие дисперсии - силикатно-окисные и гидроокиси металлов. Это делает целесообразным при реализации технологии электрообработки систем этого класса рассматривать их с общих позиций.

Разделение фаз суспензий огнеупоров электрообработкой с введением $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 10 и 25 мг/дм^3 возможно проводить при пониженной напряженности поля $E=50 \text{ В/см}$ против $E=125 \text{ В/см}$, обеспечивая одни и те же прочие параметры, показатели и результаты процесса.

Поэтому введение малых доз коагулянта, незначительно изменяющих дисперсность частиц и слабо влияющих на устойчивость системы (в нашем случае 10-25 мг/дм³ Al₂(SO₄)₃) при последующем наложении электрического поля может вызвать появление эффективных сил притяжения, вызывающих лавинообразный процесс коагуляции в суспензии. При воздействии на осадки коагулянта, флокулянта и электрообработки последняя вызывает максимальную степень агрегирования.

При замораживании ионно-стабилизированных систем процесс образования нейтрального льда приводит к повышению концентрации электролита в жидкой фазе, из которой дисперсные частицы адсорбируют на своей поверхности часть ионов, не поступающих при размораживании осадка в воду, и ее электропроводность оказывается ниже электропроводности исходной, что уменьшает ζ- потенциал частиц и величину предельного седиментационного осадка. Необратимое агрегирование обязано не только механическому вытеснению частиц из слоя кристаллизирующейся жидкости вглубь замораживаемого осадка и их сближению, но и высокой напряженности электрического поля на границе лед - жидкость, вызывающего поляризационное взаимодействие частиц осадка и образование полимерных агрегатов, переходящих в кристаллизационные. Применение метода замораживания и его комбинации с известными методами механическими и электрообработки открывает широкие перспективы обезвоживания осадков и нефтешламов с использованием естественных низких температур или льдогенераторов (замораживание без предварительной электрокоагуляции снижает дисперсность осадка в меньшей степени, чем после электрообработки)

Возможна криоптимизация и прогноз русловых деформаций северных рек, защита сооружений от размыва, так как прочностные характеристики замороженных после электроосмотической обработки грунтов близки к



скальным И, наоборот, высокодисперсные сильнольдистые породы при растеплении могут приобретать текучие свойства.

Интенсивное структурообразование при электрообработке дисперсных систем и обезвоживании осадков позволяет использовать структуру из цепочечных агрегатов как механический фильтр - коллектор и при поляризации загрузки из образовавшихся поляризационных цепочек применить ее в процессах электрофильтрации, в основе которого лежит диполофоретическое фокусирование частиц в области максимума или минимума поля в зависимости от отношения поверхностной проводимости частицы и объемной проводимости среды. В постоянном поле совместное действие диполофореза и электрофореза обуславливает фокусировку в зазорах между цепочечными агрегатами, где реализуется максимум поля.

Изучение воздействий электрического поля на воду затворения с последующим использованием ее для приготовления вяжущей системы показало, что оно ускоряет сроки схватывания, увеличивает прочность цементного камня и бетона, качество цементирования, бетонирования, надежность и долговечность нефтяных и газовых скважин, сооружений, баз и хранилищ. Регулирование параметров электрообработки дает возможность управлять твердением и физико-механическими свойствами вяжущих материалов. Основные процессы твердения вяжущего, приготовленного на воде, обработанной в электрическом поле, связаны с электродными и электрокинетическими процессами. Саму вяжущую систему можно рассматривать как дисперсную. Структурообразование приводит к потере агрегативной устойчивости и свободнодисперсная система переходит в связнодисперсную с конденсационно - кристаллизационной структурой, которая образуется за счет коагуляционной стабилизации частиц и непосредственного химического взаимодействия между ними с образованием жесткой объемной структуры.

При обработке воды затворения электрическим полем основным фактором, влияющим на дисперсии в области слабых напряженностей электрического поля, являются электрохимические процессы растворения.

Возникновение кристаллической решетки происходит как за счет перегруппировки атомов, ионов, электронов металлов и неметаллов, так и за счет срастания кристаллов под действием модифицированной жидкости. Введение в раствор гидроксида металла, образовавшегося при обработке воды затворения, существенно влияет на формирование кристаллогидратной решетки твердого тела.

При одном и том же пересыщении продолжительность индукционного периода зависит от присутствия в растворе растворимых и нерастворимых примесей. Нерастворимые примеси способствуют увеличению периода индукции, а растворимые - изменяют период индукции. За счет введения в раствор многовалентных ионов металла появляется возможность оказывать влияние на период индукции, тем самым способствовать возникновению центров кристаллизации и изменению скорости растворения минералов вяжущего. Указанные эффекты позволяют ожидать положительных результатов от использования электрообработки воды затворения для приготовления вяжущих систем, в том числе при цементировании скважин.

ВЫВОДЫ

1 На базе шести электрокинетических эффектов в системах, включая высококонцентрированные, с газовой и жидкой неполярными и полярными дисперсионными средами во внешнем электрическом поле рассмотрена проблема оптимизации и совершенствования ресурсосберегающих технологий разделения широкого диапазона дисперсий неорганических, органических и биологических веществ,

имеющих первостепенное значение в сохранении среды обитания человека и других организмов.

2. Подтверждена правомерность использования приближенных аналитических формул, связывающих повышенную напряженность электрического поля с концентрацией дисперсных частиц систем и с электростатическими факторами устойчивости на базе критерия необратимой коагуляции, учитывающего расклинивающее давление диффузных двойных слоев.

3. Изучена феноменология электрического разряда малой мощности и комплекса электрических воздействий в их взаимосвязи с процессами поляризационной и электрохимической коагуляции, электрофильтрации, обеззараживания дисперсионных сред, что позволяет обеспечивать новые режимы эффективного разделения дисперсных систем, по отношению к которым традиционные технологии не выполняют барьерных функций.

4. Оптимизирована схема реализации комплекса электрических воздействий как в последовательности: электрический разряд малой мощности в килогерцовом диапазоне частот → внешнее электрическое поле → фильтрация, так и в сочетании с однородным и неоднородным электрическим полем, электрофильтрацией и электрофлотацией, что открывает технологические перспективы отказа от расходных фильтрующих материалов.

5. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования методов и режимов электрообработки позволило подтвердить правомерность расширения классификации методов электрообработки.

6. Изучены и предложены режимы и параметры электрообработки широкого диапазона наиболее актуальных с позиций защиты и восстановления окружающей среды дисперсных материалов – промазровыбросов неорганических и органических веществ, нефтесодержащих и органосодержащих вод, включая подтоварные,

содержащие метилтретбутиловый эфир, и льяльные воды, продуктов систем жизнеобеспечения гермоотсеков и транспортных средств, стоков текстильной корпорации, промышленных и бытовых осадков.

7. На основании исследований, конструктивных и аппаратурных разработок создан модельный ряд транспортируемых, автоматизированных установок очистки питьевых вод, выполнено промышленное освоение аппаратов и технологий электрообработки производительностью от 6 л/ч до 200 м³/ч для электроочистки воды, а некоторые из режимов электрообработки технологических дисперсий внедрены и намечены к внедрению на эксплуатирующихся стационарных и передвижных сооружениях, в химической, судостроительной и других отраслях, муниципальных образованиях.

**Основное содержание диссертации опубликовано в 80 работах:
в журналах и изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Воробьева С. В. Извлечение метилтретбутилового эфира и метанола из растворов с использованием электрообработки в технологии производства высокооктановых топлив / С. В. Воробьева, О. В. Смирнов // ЖПХ, 2003.– Т. 76. Вып. 1.- С 164-165.

2. Рогожина Е. Г. Электрообработка дисперсий и питьевой воды / Е. Г. Рогожина, С. В. Воробьева, О. В. Смирнов, В. Д. Шантарин // Известия вузов. Нефть и Газ - Тюмень: ТюмГНГУ, 1997 - № 6 - С. 168.

3. Воробьева С. В. Об очистке промышленных стоков завода стабилизации газового конденсата / С. В. Воробьева, В. Н. Коновалов, О. В. Смирнов // Известия вузов Нефть и Газ - Тюмень: ТюмГНГУ, 2002.- № 5.- С 103-105

4. Смирнов О. В. О разделении гидродисперсий и очистке питьевых вод при электрообработке / О. В. Смирнов, С. В. Воробьева // Известия вузов Нефть и Газ.- Тюмень: ТюмГНГУ, 2003.- № 4.- С. 103-107.

5 Воробьева С. В. О разделении высококонцентрированных дисперсных систем в технологиях регенерации нефтешламов, обезвоживания осадков и обращения с отходами / С. В. Воробьева // Известия вузов. Нефть и Газ.- Тюмень: ТюмГНГУ, 2004.- № 2.- С. 96-102.

6. Воробьева С. В. Поведение дисперсий с неполярной средой в электрическом поле / С. В. Воробьева // Известия вузов. Нефть и Газ - Тюмень: ТюмГНГУ, 2004.- № 6.- С. 113-119.

7 Воробьева С. В. Об очистке органосодержащих сточных вод корпорации "Кросно" с использованием электрообработки / С. В. Воробьева // Известия вузов. Нефть и Газ.- Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. - № 4.- С. 110-114.

монографиях

1. Смирнов О. В. Электроочистка газов и жидкостей / О. В. Смирнов, С. В. Воробьева, В. О. Смирнова / Под ред. докт техн. наук Смирнова О. В.- Тюмень: ТюмГНГУ, 2004.- 241 с.

2 Воробьева С. В. Электроочистка питьевых и сточных вод / С. В. Воробьева - Тюмень: Изд-во "Поиск", 2004.- 144 с.

в других журналах и изданиях

1. Смирнов О. В. К вопросу об использовании электроводоочистки в Северных районах / О. В. Смирнов, С. В. Воробьева // Тез. докл. 3-го междунар. конгресса 'Вода: экология и технология "ЭКВАТЕК –1998".- М.: СИБИКО Интернэшнл, 1998.- С. 308.

2 Воробьева С. В. Технологии воды и качество здоровья / С. В. Воробьева, О. В. Смирнов, В. С. Соловьев // Материалы 1-й междунар. научн.-техн. конф.: Водоканал. Омск-98. - Омск: ОмГТУ, 1998.- С. 42.

3. Воробьева С. В. Электрообработка в технологиях регулирования характеристик дисперсных систем / С. В. Воробьева, С. А. Мурар, О. В. Смирнов // Тез. докл. 5-го междунар. симпозиума: Чистая вода России-99.- Екатеринбург: Мебиур, 1999 - С. 86-87.

4. Смирнов О. В. Новые процессы и аппараты электроочистки питьевых вод / О. В. Смирнов, С. В. Воробьева, В. А. Лютиков // Тр. междунар. научн.-техн. конф.: Техника и технология очистки и контроля качества воды - Томск: Изд-во ТПУ, 1999 – С. 165-167.

5 Воробьева С. В. Электрообработка в технологии локального водообеспечения / С. В. Воробьева, О. В. Смирнов, В. А. Лютиков // Материалы междунар. конф.: АКВАТЕРРА – 99.- СПб: РЕСТЭК, 1999.- С. 415.

6 Бородин А. В. Оптимизация параметров электрообработки питьевой воды / А. В. Бородин, С. В. Воробьева, Л. Б. Хайруллина [и др.] // Докл. междунар. научн.-практ. конф.: Окружающая среда - Тюмень: ТГУ, 2000.- С. 39 - 40.

7. Бурлин А. А. К вопросу об автоматизации систем природопользования / А. А. Бурлин, С. В. Воробьева // Докл. междунар. научн.-практ. конф.: Окружающая среда.-Тюмень: ТГУ, 2000.- С. 40 - 42.

8. Воробьева С. В. Новые технологии воды и здоровье / С. В. Воробьева, О. В. Смирнов, Л. Ф. Смирнова [и др.] // Перспективные информационные технологии и проблемы управления рисками на пороге нового тысячелетия / Материалы междунар. экологического симпозиума в рамках научных чтений Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности в 2-х т., 3-х ч. Т. 1, ч. 1 - Изд-во МАНЭБ, СПб., 2000 - С. 280-282.

9. Воробьева С. В. Достижения в области обращения с отходами / С. В. Воробьева, О. В. Смирнов, В. Д. Шантарин // Сб. тез. докл. 7-й междунар. научн.-практ. конф.: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. В 2-х ч. Ч. 1.- Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001.-С. 74-76.

10. Воробьева С. В. Очистка подземных вод методом электрокоагуляции на примере НГДУ "Мамонтовнефть" / С. В. Воробьева, В. А. Бабин, О. В. Смирнов [и др.] // Сб. тез. докл. 7-й междунар. научн.-практ. конф.: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. В 2-х ч. Ч. 1.- Томск: Изд-во Том ун-та, 2001.- С. 91-92.

11. Воробьева С. В. Электрокоагуляционный метод доочистки питьевой воды / С. В. Воробьева, В. В. Завьялов, И. В. Завьялова [и др.] // Сб. тез. докл. 7-й междунар. научн.-практ. конф.: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. В 2-х ч. Ч. 1.- Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001.- С. 101-102.

12. Воробьева С. В. Мембранная технология доочистки питьевой воды / С. В. Воробьева, В. В. Завьялов, И. В. Завьялова [и др.] // Сб. тез. докл. 7-й междунар. научн.-практ. конф.: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. В 2-х ч. Ч. 1 - Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001.- С. 103-104.

13. Воробьева С. В. Некоторые проблемы электрообработки питьевых и сточных вод как гидродисперсий / С. В. Воробьева, О. В. Смирнов // Мат. междунар. период. сб. научн. тр. "Обработка дисперсных материалов и сред". Вып. 11. (Одесса, 21-29 августа 2001 г.).- Одесса: НПО "ВОТУМ", 2001.- С. 189-194.

14. Воробьева С. В. Электрокинетические эффекты в технологиях вибрационной и сжиженного слоя при обращении с отходами / С. В. Воробьева, В. Д. Шантарин, О. В. Смирнов // Мат. междунар. период. сб. научн. тр. "Обработка дисперсных материалов и сред" Вып. 11. (Одесса, 21-29 августа 2001 г.).- Одесса: НПО "ВОТУМ", 2001.- С. 269.

15. Воробьева С. В. Отходы как дисперсные системы / С. В. Воробьева, В. О. Смирнова, О. В. Смирнов // Мат. междунар. период. сб. научн. тр.

"Обработка дисперсных материалов и сред". Вып. 11. (Одесса, 21-29 августа 2001 г.).- Одесса. НПО "ВОТУМ", 2001.- С 270.

16. Воробьева С В. Новые процессы и аппараты электроочистки питьевой воды / С. В. Воробьева, В. А. Бабин, О. В. Смирнов // Мат. междунар. период сб научн. тр. "Обработка дисперсных материалов и сред". Вып. 11 (Одесса, 21-29 августа 2001 г.).- Одесса: НПО "ВОТУМ", 2001.- С. 271.

17. Воробьева С В. К электрообработке питьевых вод как гидродисперсий /С. В. Воробьева // Сб матер междунар. научн.- практ конф. "Экология и безопасность жизнедеятельности"- Пенза: Изд-во Приволжский Дом Знаний, 2002. - С.104-106.

18. Воробьева С. В. Некоторые экологические технологии при обеспечении эксплуатации транспорта / С. В. Воробьева, О. В. Смирнов // Сб. тр. II междунар научн - практ. конф. "Новые топлива с присадками" (Санкт- Петербург, 18-21 июня 2002 г.) - СПб: "Академия прикладных исследований", 2002. - С. – 224.

19. Воробьева С В. Новые технологии переработки и утилизации отходов и осадков сточных вод / С. В. Воробьева, В. Д. Шантарин, В. А Федоров [и др.] // Матер. междунар научных чтений "Белые ночи – 2002" (Санкт- Петербург, 2-8 июня 2002 г.).- СПб: Изд-во МАНЭБ, 2002.- С 87-89.

20. Воробьева С. В. О возможности водообеспечения полигона ТБО с Упорово и его гидроизоляции / С. В. Воробьева, О В Смирнов, В. И Шестаков // Мат VII междунар. научн. чтений "Белые ночи-2003". (Санкт- Петербург, 4-6 июня 2003 г.).- СПб: Изд-во МАНЭБ, 2003.– С. 38-39.

21. Воробьева С В. О возможностях электрообработки при глушении фонтанов на скважинах и забойной сепарации газа и жидкости / С В Воробьева, О В Смирнов, Л У Чабаев // Мат VII междунар научн

чтений "Белые ночи-2003". (Санкт- Петербург, 4-6 июня 2003 г.).- СПб: Изд-во МАНЭБ, 2003.-С. 136-137.

22. Воробьева С. В. Экологически чистые технологии утилизации-нефтешламов, нефтемаслоотходов, нефтезагрязненных замазученных земель и вод / С. В. Воробьева, О. В. Смирнов, В. Д. Шантарин // Матер. междунар. научн -техн. конф. "Нефть и газ Западной Сибири". (Тюмень 12-13 ноября 2003 г.).– Тюмень: ТюмГНГУ, 2003.– С. 205.

23 Воробьева С. В. Модельный ряд автономных электроводоочистителей для гермоотсеков и условий Крайнего севера / С В. Воробьева, О В. Смирнов, В О. Смирнова // Мат. 6-го междунар Конгресса: Вода: экология и технология. ЭКВАТЭК-2004 В 2-х ч. Ч. 1 (Москва 1-4 июня 2004 г.).– М : СИБИКО Интернэшнл, 2004 – С.-489

24. Воробьева С. В. Электроочистители как биомедицинская техника / С. В. Воробьева, О. В. Смирнов, В. О. Смирнова // Мат. 6-го междунар. Конгресса: Вода: экология и технология. ЭКВАТЭК-2004. В 2-х ч. Ч 2. (Москва 1-4 июня 2004 г.).– М.: СИБИКО Интернэшнл, 2004 - С - 817-818

25. Smirnov O. Electrotreatment in technology purification of water / O. Smirnov, S Vorobjeva, V. Smirnova // The 6th International Conference "Environmental Engineering" Selected Papers. (26-27 May 2005. Vilnius, Lithuania) – Vilnius: VGTU Press "Technika". 2005.– P. 473-477.

26 Воробьева С. В. Электрообезвреживание и термообработка в технологии осадков сточных вод / С В. Воробьева, О. В. Смирнов // 5-я междунар выставка и конгресс по управлению отходами ВэйстТэк-2005. (Москва 31 мая -3 июня 2005 г.).- М.: СИБИКО Интернэшнл, 2005 – С. 389.

Подписано к печати 26. 09 2005 г.
Заказ № 7022
Формат 60x84 1/16
Отпечатано на RISO GR 3750

Бум. тип. № 1
Уч.- изд. л. 2, 75
Усл. печ. л. 2, 55
Тираж 100 экз.

Издательство "Нефтегазовый университет"
Государственное общеобразовательное учреждение высшего профессионального образования
"Тюменский государственный нефтегазовый университет"
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38
Отдел оперативной полиграфии издательства "Нефтегазовый университет"
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52

№ 15574

РНБ Русский фонд

2006-4

11730